



**SKRIPSI – TK141581**

**PENGUNAAN SINAR MATAHARI  
SEBAGAI SUMBER ENERGI DALAM  
PROSES PENDINGIN RUANGAN**

**Oleh:  
SERLYA ALDINA  
NRP. 2313 100 023**

**NOVITA SARI  
NRP. 2313 100 172**

**Dosen Pembimbing  
Juwari, ST., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 1973 06 15 1999 03 1003**

**Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D.  
NIP. 1953 07 19 1978 03 1001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



**FINAL PROJECT – TK141581**

**UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR  
AIR CONDITIONING SYSTEM**

**Written by:**  
**SERLYA ALDINA**  
**NRP. 2313 100 023**

**NOVITA SARI**  
**NRP. 2313 100 172**

**Advisor :**  
**Juwari, ST., M.Eng., Ph.D.**  
**NIP. 1973 06 15 1999 03 1003**

**Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D.**  
**NIP. 1953 07 19 1978 03 1001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT**  
**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2017**



# LEMBAR PENGESAHAN

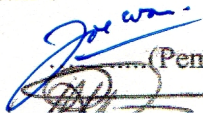


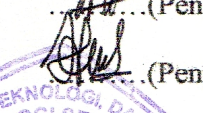
## **“PENGUNAAN SINAR MATAHARI SEBAGAI SUMBER ENERGI DALAM PROSES PENDINGIN RUANGAN”**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen  
Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SERLYA ALDINA**      2313 100 023  
**NOVITA SARI**        2315 100 172

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Prof. Ir. Renanto, M.S. Ph.D.  (Pembimbing II)
- 3 Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng.  (Penguji I)
4. Hikmatun Ni'mah, S.T., M.Sc., Ph.D.  (Penguji II)

**SURABAYA, 24 JULI 2017**



## LEMBAR PERSETUJUAN

Laporan skripsi dengan judul:

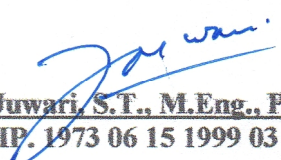
**"Penggunaan Sinar Matahari sebagai Sumber Energi dalam  
Proses Pendingin Ruangan"**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan:

Dosen Pembimbing 1

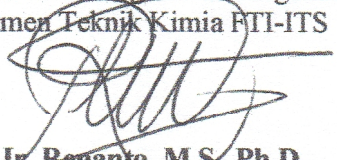
Surabaya, 9 Juli 2017

Dosen Pembimbing 2


  
Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 1973 06 15 1999 03 1003


  
Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.  
NIP. 1973 06 15 1999 03 1003

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses  
Departemen Teknik Kimia FTI-ITS

  
Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.  
NIP. 1953 07 19 1978 03 1001

Penyusun:

  
Sertya Aldina  
NRP. 2313 100 023

  
Novita Sari  
NRP. 2313 100 172

# **PENGUNAAN SINAR MATAHARI SEBAGAI SUMBER ENERGI DALAM PROSES PENDINGIN RUANGAN**

Nama Mahasiswa : Serlya Aldina 2313100023  
Novita Sari 2313100172  
Departemen : Teknik Kimia FTI ITS  
Dosen Pembimbing : Juwari, ST., M.Eng., Ph.D  
Prof. Ir. Renanto, MS., Ph.D

## **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk membuat simulasi sistem pendingin ruangan yang memanfaatkan sinar matahari dengan metode *single-effect absorption refrigeration* menggunakan beberapa variabel absorben-refrigerant, serta menganalisa *Coefficient of Performance* (COP) untuk setiap variabel absorben-refrigerant dan membandingkan efektifitas dari setiap variabel absorben-refrigerant yang digunakan. Variabel absorben-refrigerant yang digunakan dalam penelitian ini bergantung pada sifat kimia dan termodinamika dari *working fluid* (absorben-refrigerant) yang digunakan.. Langkah yang dilakukan meliputi pengumpulan dan pengolahan data dari literatur kemudian melakukan simulasi sistem pendingin ruangan baik sistem komersial (menggunakan energi listrik) maupun sistem yang memanfaatkan sinar matahari dengan menggunakan *software* Aspen Plus. Selanjutnya melakukan simulasi untuk setiap variabel *working fluid* dan melakukan perhitungan COP masing-masing variabel, kemudian menganalisa dan membandingkan efektifitas setiap variabel yang diteliti dari aspek COP dan ekonomi dengan sistem pendingin ruangan konvensional. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa *solar air conditioning* mampu menghemat kebutuhan listrik sebesar 98,85% dibandingkan AC komersial. Selain itu, berdasarkan analisa COP, nilai COP sistem solar air conditioning tertinggi terdapat pada sistem dengan *working fluid*

$\text{LiNO}_3\text{-NH}_3$  dengan komposisi 55% *refrigerant* dan 45% absorben.

**Kata kunci** : Pendingin ruangan, *absorption refrigerant*, absorben, *refrigerant*, Aspen Plus

# UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR AIR CONDITIONING SYSTEM

Student's Name : Serlya Aldina 2313100023  
Novita Sari 2313100172  
Departement : Teknik Kimia FTI ITS  
Advisor : Juwari, ST., M.Eng., Ph.D  
Prof. Ir. Renanto, MS., Ph.D

## ABSTRACT

The purposes of this research are to do a system simulation of air conditioning utilizing solar energy with single effect absorption refrigeration method, analyze the coefficient of performance (COP) for each absorbent-refrigerant variable and compare the effectivity of every absorbent-refrigerant variable used. Absorbent-refrigerant (working fluids) variables used in this research depend on its chemical and thermodynamics properties. Steps in this research are including data collection and tabulation from literature and do a simulation of air conditioning system both commercial air conditioning system (using electrical energy) and solar energy air conditioning system with Aspen Hysys software. Next, run the simulation for each working fluid variables used and calculate the COP for each variable. Subsequently, analyze and compare the effectivity of all variables used from COP value and economical point of view with commercial air conditioning system. From the result of the simulation, can be concluded that solar air conditioning can achieve 98,85 % of energy savings than commercial air conditioning. Furthermore, from the calculation of COP, the highest COP value is achieved by solar conditioning system with  $\text{LiNO}_3\text{-NH}_3$  as working fluid where 55% of the composition is the refrigerant and 45% of absorbent.

**Keywords:** Air conditioning, absorption refrigerant, absorbent, refrigerant, Aspen Plus



# **KATA PENGANTAR**

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkat, rahmat serta hidayah-Nya kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Penggunaan Sinar Matahari sebagai Sumber Energi dalam Proses Pendingin Ruangan”** serta mampu menyelesaikan laporan ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dari beberapa pihak, Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

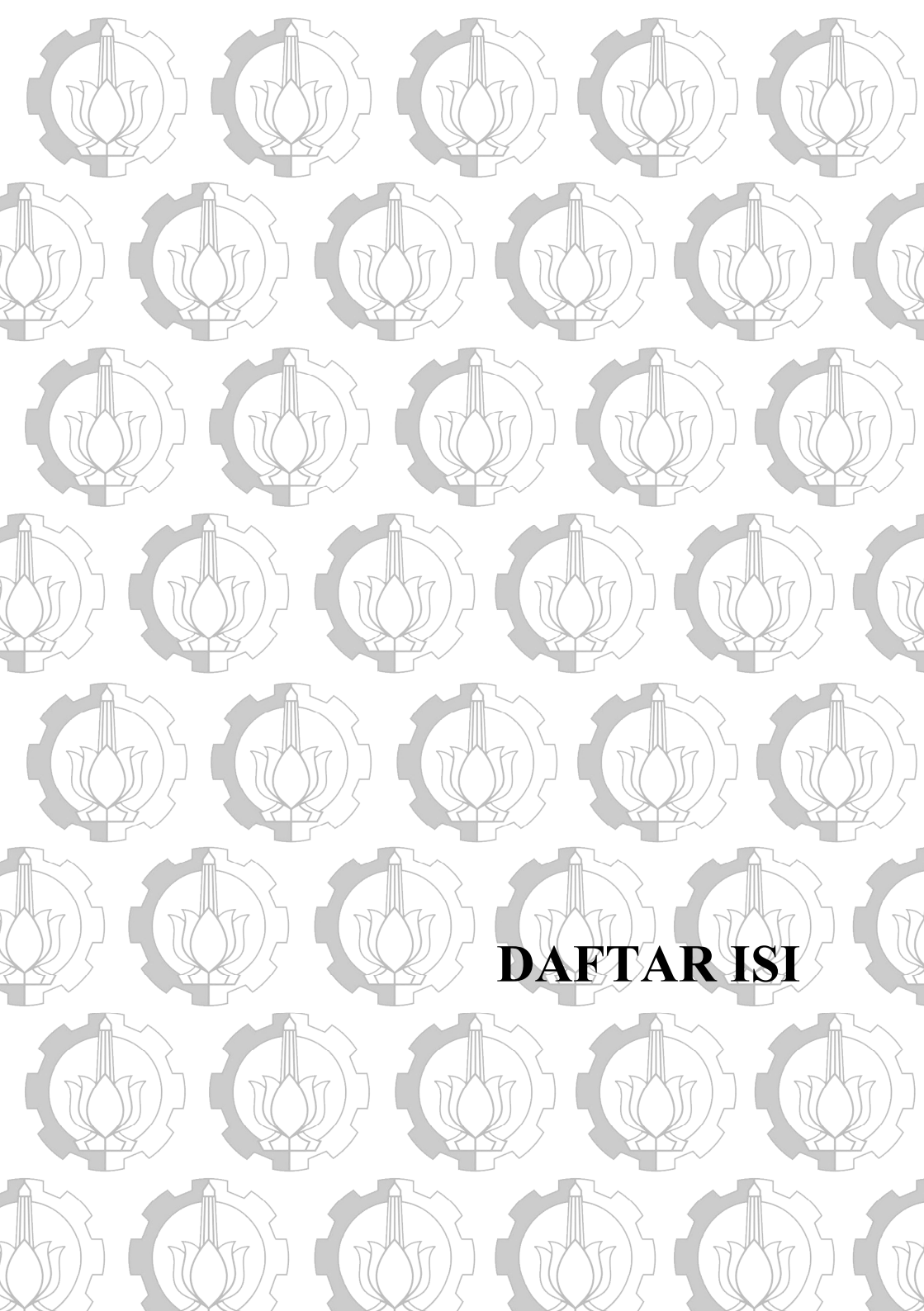
1. Allah SWT atas rahmat -Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Kepala Departemen sekaligus dosen pembimbing skripsi atas bimbingan dan saran yang diberikan
3. Prof. Dr. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D, selaku Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses sekaligus Dosen Pembimbing penulis, atas bimbingan dan saran yang diberikan.
4. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia.
5. Orang tua serta saudara – saudara kami, untuk doa, bimbingan, perhatian, dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
6. Semua teman-teman seperjuangan *Perdalpro Crew*, serta kakak-kakak tercinta yang membantu memberikan *support*.
7. Keluarga tercinta Teknik Kimia ITS, K53 yang saling memberikan pengalaman.
8. Seluruh pihak yang telah membantu kami dalam pelaksanaan pembuatan skripsi ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran dari para pembaca sangat penulis harapkan sebagai upaya peningkatan kualitas dari laporan ini.

Surabaya, 5 Juli 2017

Penulis





# DAFTAR ISI

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSETUJUAN	
ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	I-1
I.2. Rumusan Masalah.....	I-2
I.3. Batasan Masalah .....	I-3
I.4. Tujuan Penelitian.....	I-3
I.5. Manfaat Penelitian .....	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 <i>Air Conditioning</i> (AC).....	II-1
II.2 <i>Solar Air Conditioning</i> .....	II-3
II.3 Komponen <i>Solar Air Conditioning</i> .....	II-3
II.4 Tipe Konfigurasi <i>Solar Air Conditioning</i> .....	II-11
II.5 <i>Solar Absorption Chiller</i> .....	II-18
II.6 Penelitian Terdahulu .....	II-20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	III-2
III.2. Pemilihan Model Termodinamika.....	III-4
III.3 Pemodelan Unit Proses .....	III-4
III.4 Simulasi <i>Steady State</i> .....	III-6
III.5 Analisa Perhitungan COP .....	III-6
III.6 Analisa Ekonomi.....	III-6
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Energi dari <i>Solar Collector</i> .....	IV-1
IV.2 Simulasi AC Komersial .....	IV-3
IV.3 Simulasi <i>Solar Air Conditioning</i> .....	IV-6

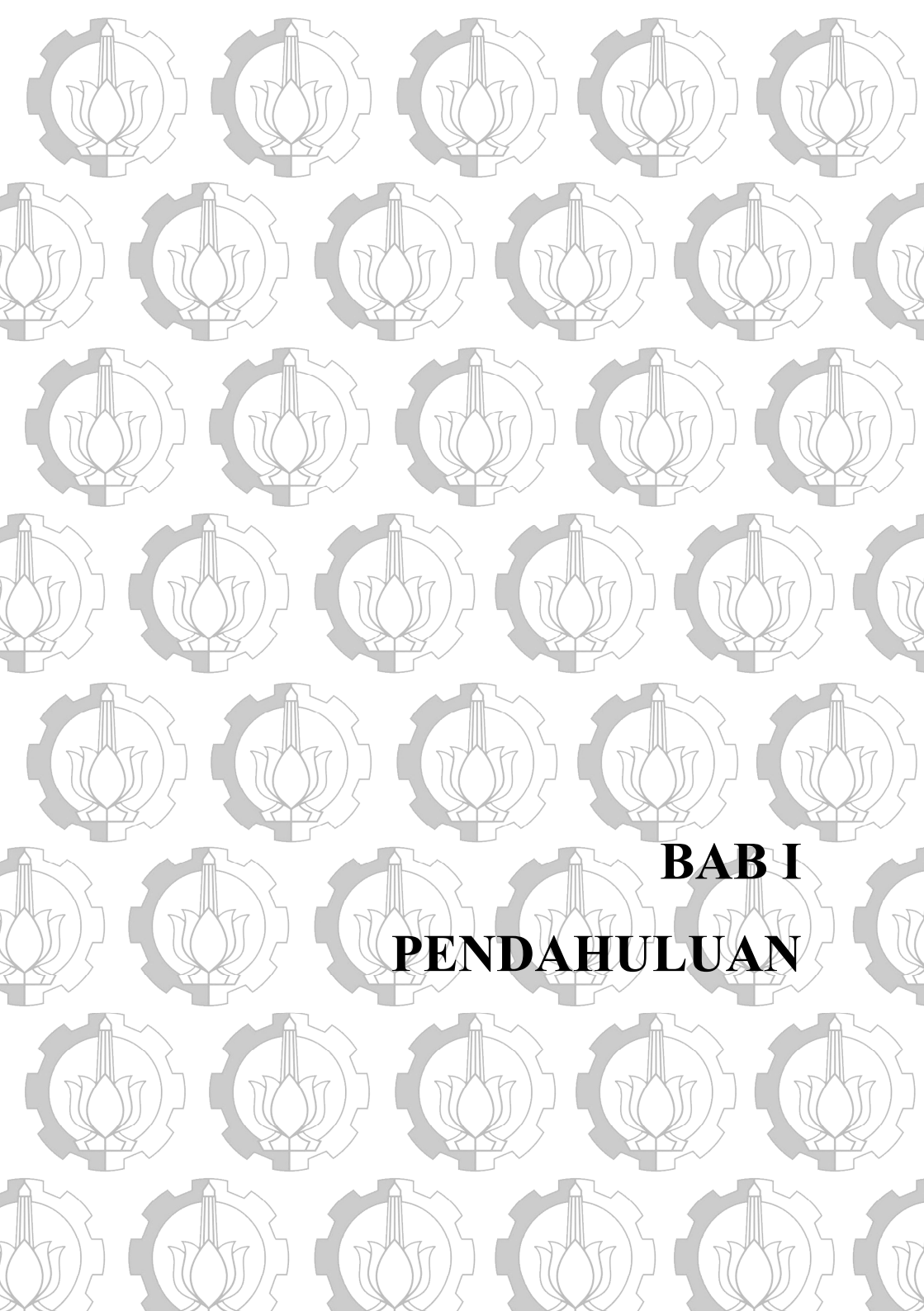
IV.4. Analisa <i>Coefficient of Peformance</i> .....	IV-11
IV.5 Analisa Ekonomi .....	IV-15
BAB V KESIMPULAN	
V.1. Kesimpulan .....	V-1
V.2. Saran .....	V-1
DAFTAR PUSTAKA.....	x
DAFTAR NOTASI .....	xiii
APPENDIKS A .....	A-1
APPENDIKS B .....	B-1
APPENDIKS C .....	C-1
APPENDIKS D .....	D-1
APPENDIKS E .....	E-1
APPENDIKS F .....	F-1
APPENDIKS G .....	G-1
APPENDIKS H .....	H-1

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Skema Diagram <i>Vapor Compression System</i>	II-1
Gambar II.2 Komponen Sistem <i>Solar Air Conditioning</i>	II-3
Gambar II.3 Skema <i>All-air System</i>	II-4
Gambar II.4 Skema <i>Hydronic Systems</i>	II-4
Gambar II.5 Skema <i>Decentralized Systems</i>	II-5
Gambar II.6 Bagan konversi radiasi matahari	II-6
Gambar II.7 Skema Radiasi Matahari Sampai ke Bumi	II-7
Gambar II.8 Prinsip <i>Silicon Photovoltaic Cell</i>	II-8
Gambar II.9 Skema Konfigurasi <i>Photovoltaic AC</i>	II-10
Gambar II.10 Skema Konfigurasi Sistem <i>Heat Driven AC</i>	II-11
Gambar II.11 Sistem <i>Duplex Rankine Cycle</i>	II-11
Gambar II.12 Skema Kerja <i>Heat Pump</i> Tiga Level Suhu	II-12
Gambar II.13 Teknik Aplikasi <i>Thermal Heat Pump</i>	II-13
Gambar II.14 Skema <i>Solar Driven Desiccant Cooling</i>	II-14
Gambar II.15 Skema Mollier Chart Siklus <i>All-Desiccant</i>	II-15
Gambar II.16 Prinsip Operasi Absorption Refrigeration	II-16
Gambar II.17 Siklus Pendingin <i>Absorption Refrigerator</i>	II-17
Gambar III.1 Siklus Diagram Alir Penelitian	III-1
Gambar III.2 Rincian Ukuran Ruangan yang Ditetapkan	III-3
Gambar III.3 Skema Proses <i>Vapor Air Conditioning</i>	III-5
Gambar III.4 Skema Proses <i>Absorption-Refrigeration</i>	III-5
Gambar IV.1 Koordinat Posisi Kota Surabaya	IV-1
Gambar IV.2 Grafik Energi <i>Solar Collector</i> Setahun	IV-2
Gambar IV.3 Blok Sistem Pendingin <i>Vapor Compression</i>	IV-3
Gambar IV.4 Blok Sistem Pendingin Udara Komersial	IV-4
Gambar IV.5 Blok Sistem Pendingin <i>Absorption-Chiller</i>	IV-6
Gambar IV.6 Simulasi <i>Solar Air Conditioning</i>	IV-7
Gambar IV.7 Grafik Hubungan COP dan Komposisi	IV-23

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Tipe <i>Thermal Collector</i> dan <i>Range</i> Suhunya	II-10
Tabel IV.1 Kebutuhan Energi Listrik AC Komersial	IV-6
Tabel IV.2 Kebutuhan Energi <i>Solar Air Conditioning</i>	IV-10
Tabel IV.3 Perhitungan COP dari AC Komersial	IV-12
Tabel IV.4 Perhitungan COP dari <i>Solar Air Conditioning</i>	IV-12
Tabel IV.5 Kapasitas Peralatan <i>Solar Air Conditioning</i>	IV-17
Tabel IV.6 Biaya Kapital <i>Solar Air Conditioning</i>	IV-20
Tabel IV.7 Hasil Simulasi AC Komersial	IV-20
Tabel IV.8 Hasil Simulasi <i>Solar Air Conditioning</i>	IV-20
Tabel IV.9 Data Analisa <i>Annual Worth</i>	IV-22



# **BAB I**

# **PENDAHULUAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

*Air Conditioner* (AC) sekarang ini menjadi solusi canggih untuk mengatasi suhu ruangan yang panas, terutama di perkotaan. Hampir semua perkantoran, sekolah ataupun rumah di kota tidak bisa terlepas dari penggunaan AC. AC akan membuat ruangan menjadi dingin dan sejuk sehingga nyaman untuk ditempati.

Akan tetapi, penambahan beban energi untuk penginstalan sebuah AC juga akan mempercepat terjadinya *global warming* dan efek rumah kaca. Sebesar dua pertiga dari total energi digunakan untuk bangunan, dimana 30-50% konsumsi listrik pada bangunan didominasi oleh sistem pendingin udara (AC).

Dampak negatif dari meningkatnya konsumsi energi ini antara lain:

1. Kebanyakan sistem pendingin udara (*Air Conditioning*) disuplai oleh listrik. Meningkatnya kebutuhan akan sistem pendingin ruangan akan mengakibatkan meningkatnya konsumsi listrik yang akan berkaitan dengan emisi gas rumah kaca.
2. Sebagai tambahan, teknologi pendingin udara dengan kompresi uap bertenaga listrik menggunakan CFC dan HCFC sebagai *refrigerants* yang dapat menyebabkan polusi.

Oleh karena itu, adanya teknologi lain yang mampu menciptakan sistem pendingin udara tanpa menggunakan listrik sangatlah penting.

*Solar air conditioning* merupakan alat pendingin ruang berbasis energi matahari. Energi matahari dapat digunakan sebagai sumber energi dalam sistem *air conditioning* melalui dua cara. Pertama, energi matahari dapat dikonversikan menjadi listrik dengan menggunakan *photovoltaic cells* yang kemudian digunakan untuk mengoperasikan pendingin ruang konvensional

dengan sistem *vapor compression air conditioning*. Kedua, energi matahari dapat digunakan untuk memanaskan *working fluid* dan meregenerasi *refrigerant* dalam generator dari sistem *vapor sorption* (absorpsi atau adsorpsi) *air conditioning*.

Pengaplikasian energi matahari pada sistem pendingin udara memiliki beberapa keuntungan, selain menawarkan solusi dari dampak negatif yang telah dijabarkan sebelumnya, teknologi ini memiliki keuntungan:

1. Beban pendinginan maksimum sama dengan radiasi maksimum yang tersedia
2. Fluida kerja yang digunakan tidak berbahaya, seperti air dan larutan garam

Teknologi yang telah ada saat ini untuk produksi pendingin udara menggunakan energi termal adalah: mesin absorpsi (*absorption chiller*), *desiccant* padat-cair, dan adsorpsi padat.

Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan sistem *single effect absorption chiller* dengan menggunakan LiBr-Air sebagai absorben dan *refrigerant* (Zambrano et. al, 2008). Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian dengan menggunakan variabel *working fluid* lain untuk menggantikan absorben dan *refrigerant* serta menganalisa serta membandingkan bagaimana efektifitas tiap variabel ini terhadap iklim tropis Surabaya.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem pendingin ruangan yang memanfaatkan panas matahari dengan teknologi *Single-Effect Absorption Chiller* menggunakan beberapa variabel *working fluid* (absorben-*refrigerant*) yang berbeda-beda.



### **I.3 Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Proses yang dipelajari adalah teknologi pendinginan surya dengan *Single-Effect Absorption Refrigeration*
2. Sistem pendingin ruangan yang disimulasikan adalah sistem pendingin ruangan konvensional dan sistem pendingin ruangan menggunakan energi matahari.
3. Variabel *working fluid* yang digunakan pada penelitian ini adalah LiBr-H<sub>2</sub>O, LiNO<sub>3</sub>-NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub> dan NMP-R32.
4. Simulasi dengan menggunakan *software* Aspen Plus

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membandingkan keefektifan sistem pendingin ruangan yang menggunakan energi matahari dengan pendingin ruangan komersial.
2. Membandingkan keefektifan keempat variabel *working fluid* yang digunakan dalam sistem *solar air conditioning*.
3. Merekomendasikan *working fluid* alternatif pengganti *working fluid* LiBr-H<sub>2</sub>O dalam sistem *solar air conditioning*.
4. Menganalisa hubungan antara perbandingan jumlah absorban dan refrigeran dalam *working fluid* dengan nilai *Coefficient of Performance* (COP) untuk sistem *solar air conditioning*.

### **I.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat:

1. Dapat memahami cara kerja pendingin ruangan yang memanfaatkan panas matahari dengan teknologi *Single-Effect Absorption Chiller*.

2. Dapat membandingkan efektifitas pendingin ruangan menggunakan energi matahari dengan pendingin ruangan konvensional.
3. Dapat membandingkan *working fluid* yang lebih efektif digunakan untuk sistem pendingin ruangan dengan teknologi *Single-Effect Absorption Refrigeration*.
4. Dapat mengetahui hubungan antara komposisi *working fluid* dengan nilai *Coefficient of Performance* (COP) untuk sistem *solar air conditioning*.



## **BAB II**

# **TINJAUAN PUSTAKA**

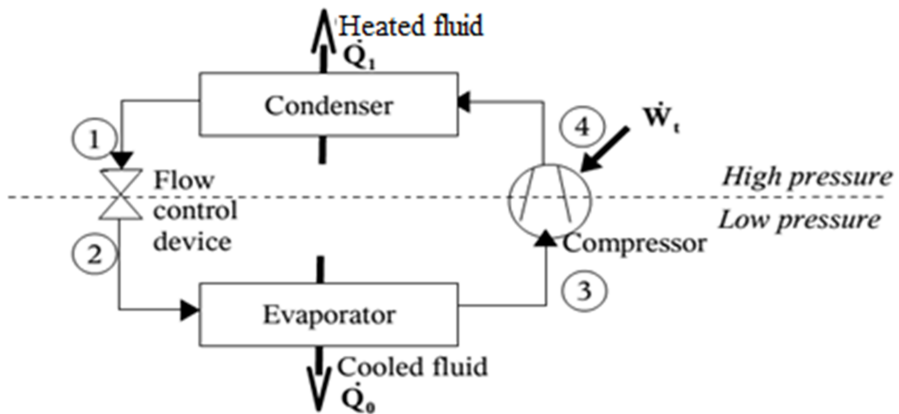
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. *Air Conditioning* (AC)

AC atau *air conditioning* (pendingin ruangan) merupakan alat yang digunakan untuk mendinginkan suhu udara sebuah ruangan dengan berdasarkan prinsip ilmiah yang sederhana. AC menggunakan *refrigerant* untuk menurunkan suhu udara dalam ruangan, dengan memanfaatkan hukum fisika dimana ketika cairan berubah fasa menjadi gas (dalam proses yang disebut fase konversi) akan menyerap panas. AC mengeksplotasi sifat konversi ini dengan memaksa senyawa kimia khusus menguap dan mengembun secara berulang-ulang dalam sistem kumparan tertutup (Wang, 2001).

Pada dasarnya, proses pendinginan AC yang umum digunakan saat ini menggunakan *vapor compression system*. Pada sistem ini, secara garis besar proses pendinginan dibagi kedalam dua tahap, yaitu proses refrigerasi mendinginkan udara dan proses kompresi gas *refrigerant* kembali menjadi *liquid*. Berikut adalah skema *flow diagram vapor compression system* beserta komponen-komponennya.



**Gambar II.1** Skema Flow Diagram *Vapor Compression System*

Dari skema tersebut, prinsip kerja proses pendinginan dalam AC dapat diuraikan sebagai berikut :

- **Proses 1-2**

Pada titik (1), *refrigerant* yang berfasa *liquid* berada pada kondisi suhu dan tekanan yang tinggi. *Refrigerant* mengalir dari titik (1) menuju ke titik (2) dengan melewati *flow control device* atau *expansion device*, sehingga tekanan *refrigerant* menurun. Tekanan pada titik (2) relatif rendah dan sebagian kecil dari *refrigerant* mulai menguap.

- **Proses 2-3**

*Refrigerant* mengalir melalui *heat exchanger* yang disebut evaporator. *Heat exchanger* ini memiliki dua sirkuit, satu untuk aliran *refrigerant* dan satu lagi untuk aliran udara yang akan didinginkan. Udara yang akan didinginkan mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan *refrigerant*, sehingga panas akan mengalir dari udara menuju ke *refrigerant*. Proses perpindahan panas ini mengakibatkan suhu udara keluar evaporator menjadi lebih dingin, sedangkan *refrigerant* mengalami penguapan, sehingga keluar dari evaporator *refrigerant* berfasa gas.

- **Proses 3-4**

Keluar dari evaporator *refrigerant* berfasa gas dengan tekanan dan temperatur yang rendah. Agar dapat digunakan kembali, *refrigerant* harus dikembalikan pada kondisi di titik (1) yaitu *liquid* bertekanan tinggi. Oleh karena itu, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menaikkan tekanan gas *refrigerant* dengan menggunakan kompresor. Selain peningkatan tekanan, proses kompresi ini juga dapat meningkatkan suhu gas tersebut.

- **Proses 4-1**

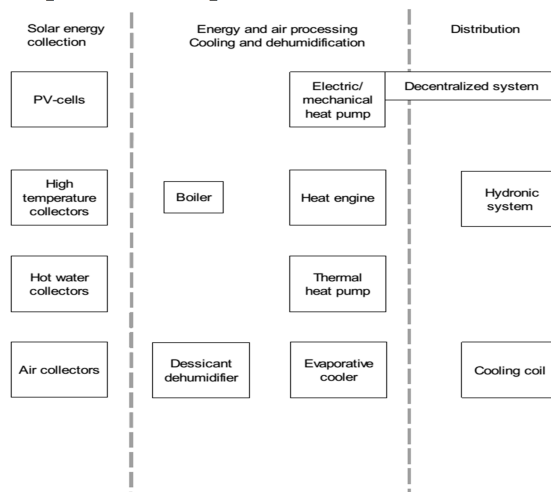
*Refrigerant* yang keluar dari kompresor mempunyai tekanan dan temperatur yang tinggi. Untuk mengubah *refrigerant* dari fasa gas menjadi fasa *liquid*, panas dari fluida harus dilepaskan. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan kondensor. *Refrigerant* didinginkan menggunakan fluida pendingin berupa udara ataupun air yang mempunyai suhu lebih rendah daripada

*refrigerant*. Kemudian panas akan berpindah dari *refrigerant* menuju fluida pendingin, sehingga *refrigerant* akan terkondensasi menjadi liquid kembali (Pita, 1998).

## II.2. *Solar Air Conditioning*

*Solar air conditioning* merupakan alat pendingin ruang berbasis energi matahari. Energi matahari dapat digunakan sebagai sumber energi dalam sistem *air conditioning* melalui dua cara. Pertama, energi matahari dapat dikonversikan menjadi listrik dengan menggunakan *photovoltaic cells* yang kemudian digunakan untuk mengoperasikan pendingin ruang yang umum digunakan dengan sistem *vapor compression air conditioning*. Kedua, energi matahari dapat digunakan untuk memanaskan *working fluid* dan meregenerasi *refrigerant* dalam generator dari sistem *vapor sorption* (absorpsi atau adsorpsi) *air conditioning* (Al-Ugla, et al, 2015).

## II.3. *Komponen - Komponen Solar Air Conditioning*



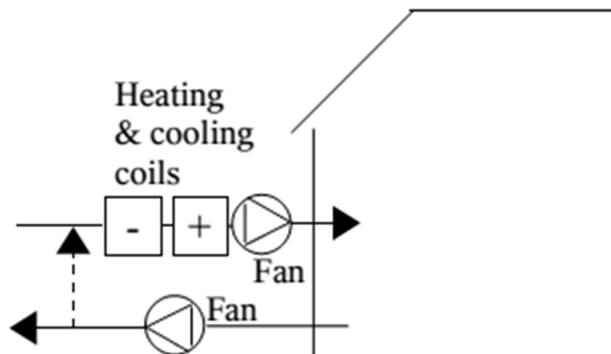
**Gambar II.2** *Komponen – Komponen Sistem Solar Air Conditioning*

Berdasarkan skema pada gambar II.2, komponen-komponen sistem *solar air conditioning* dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *Solar energy collection*, Proses (*cooling* dan *dehumidification*) dan distribusi (Rona, 2004).

### II.3.1. Distribusi

Ada dua aspek utama dari *air conditioning*, yaitu proses pendinginan dan dehumidifikasi. Kedua proses tersebut dapat dicapai dengan dua cara. Pertama, udara yang ada di dalam ruangan diganti dengan *supply air* yang didinginkan dan dikeringkan atau yang disebut dengan *all-air-system*. Kedua, dengan menggunakan *cold surface* di dalam ruangan atau yang disebut *hydronic systems or decentralized systems with small room air conditioners*.

#### a) *All-air System*



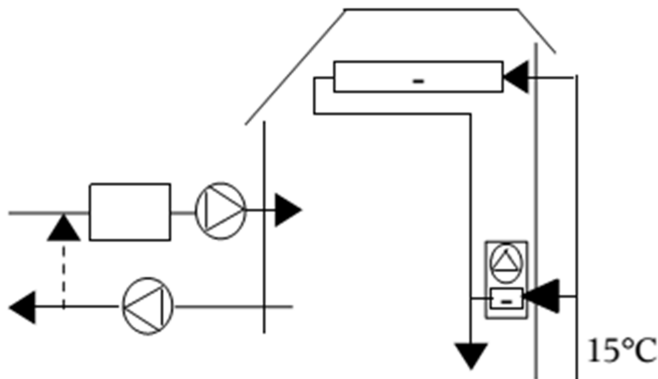
**Gambar II.3** Skema *All-air System*

Dalam *all-air system*, udara dari luar dan sebagian return air umumnya melalui *cooling coil* sebelum dikirim kedalam ruangan. Untuk mencapai proses dehumidifikasi, suhu *cooling coil* diatur sedikit diatas 5°C. Ketika *latent load (humidity)* tinggi, udara harus didinginkan hingga suhu yang sangat rendah untuk mencapai hasil demudifikasi yang diinginkan. Pada kebanyakan kasus, udara membutuhkan proses pemanasan kembali untuk mencegah masalah tersebut. Proses *reheating* dapat dicapai

dengan melewati udara melalui *heating coil* atau *air-air heat exchanger* (Rona, 2004).

Kelebihan dari sistem ini adalah ketika suhu dan *humidity* udara luar lebih rendah dibandingkan kondisi *supply air* yang dibutuhkan, kondisi udara ruangan dapat dicapai tanpa harus menggunakan peralatan pendingin (Rona, 2004).

**b) *Hydronic systems***



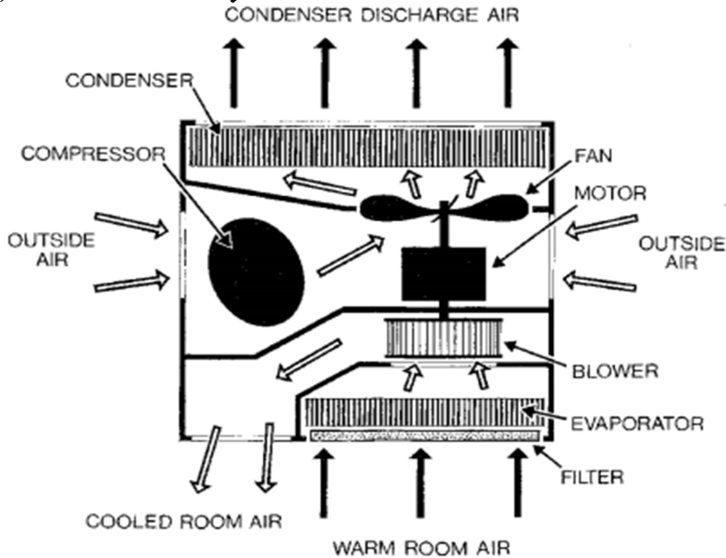
**Gambar II.4** Skema *Hydronic Systems*

Dalam sistem *hydronic*, panas dipindahkan dari ruangan dengan mengalirkan panas dari udara di dalam ruangan melalui permukaan yang dingin ke larutan garam. Udara di dalam ruangan akan berkontak dengan permukaan yang dingin melalui konveksi paksa atau melalui *natural convection*. Peralatan yang digunakan untuk konveksi paksa adalah *fan coils* dan induksi unit. Udara dipaksa melalui koil pendingin dan kembali untuk mendinginkan ruangan. *Natural convection* terjadi pada *ceiling cooling panels*. Ketika udara dalam yang hangat berkontak dengan *ceiling panel*, udara akan didinginkan. Ketika udara didinginkan densitasnya naik dan akibatnya udara akan turun ke lantai. Jadi sirkulasi udara diciptakan di dalam ruangan dan udara dingin didistribusikan.



Larutan garam dalam beberapa kasus secara konstan diganti dengan larutan garam dingin yang baru. Suhu *supply* di dalam sistem *hydronic*, umumnya diatur di atas suhu dew pointnya atau berkisar 15°C (Rona, 2004).

### c) *Decentralized Systems*



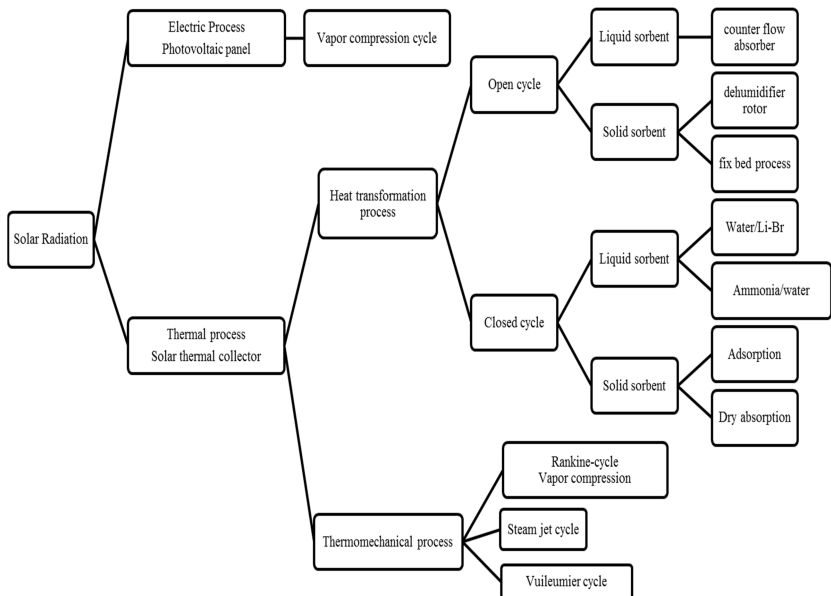
**Gambar II.5** Skema *Decentralized Systems*

Alternatif lain selain sistem *all-air* dan *hydronic* adalah sistem *decentralized*, dimana setiap ruangan dikondisikan dengan satu atau beberapa unit air conditioning lokal kecil. Gambar II.5 menggambarkan tipe *window/wall air conditioning* dalam mode pendingin. Udara ruangan yang hangat mengalir melalui koil pendingin (evaporator) dan melepaskan panas sensible dan laten. Udara yang dikondisikan kemudian disirkulasi di dalam ruangan dengan menggunakan fan atau blower.

Pada unit pemisahan, *air conditioner* dipisah dalam dua unit yaitu outdoor unit yang terdiri dari kompresor dan kondensor serta indoor unit yang terdiri dari evaporator. Kedua unit dihubungkan *refrigerant loop transporting*.

Sistem desentralisasi mempunyai beberapa keuntungan, yaitu biaya awal relatif murah, tidak memerlukan jaringan pipa dan instalasinya sederhana. Sedangkan kerugiannya antara lain, lifetime dari peralatannya singkat (10 tahun), berisik dan membutuhkan perawatan yang rutin. Aspek lain yang merupakan kerugian dari sistem ini ketika diaplikasikan dalam *solar air conditioning* adalah semua sistemnya secara elektrik (Rona, 2004).

### II.3.2. Proses (*Refrigeration dan Dehumidification*)



**Gambar II.6** Bagan cara untuk mengonversi radiasi matahari menjadi pendingin

Pada dasarnya, ada banyak cara yang berbeda yang dapat digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi pendingin atau proses *air conditioning* seperti yang terlihat pada gambar II.6 di atas (Djelloul, 2013).

### II.3.3. *Solar Energy Collection*

*Solar energy collection*, sesuai dengan namanya alat ini digunakan untuk mengumpulkan energi yang dihasilkan oleh matahari yang kemudian diubah menjadi energi-energi lain seperti listrik, panas atau keduanya. Energi yang diemisikan oleh matahari berupa cahaya tampak dan panas yang dapat dimodelkan sebagai gelombang elektromagnetik atau sebagai aliran partikel yang sangat kecil yang disebut proton. Dalam model gelombang, radiasi matahari dikatakan mempunyai amplitudo dan frekuensi. Sedangkan dalam model partikel, radiasi matahari didekati dengan sejumlah proton dan energi yang ada pada setiap proton (Rona, 2004).

Menurut Goswami (2015), cara terbaik untuk memprediksi level radiasi pada bumi adalah melalui metode statistik dengan mengumpulkan data selama kurang lebih 30 tahun. Dan efisiensi dari *solar collector* dapat dirumuskan sebagai berikut :

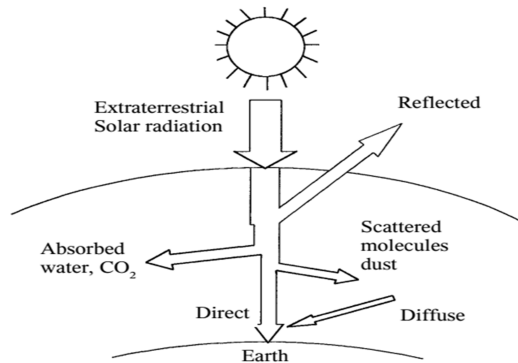
$$\eta_c = \frac{E}{I_c A_c} \text{ atau } \eta_c = \frac{\int E dt}{\int I_c A_c dt}$$

Dimana : E = Energi yang terkumpul (W)

$I_c$  = Radiasi matahari ( $\text{W/m}^2$ )

$A_c$  = Luas permukaan *solar collector* ( $\text{m}^2$ )

Berikut adalah skema radiasi matahari sampai ke bumi (Rona, 2004) :

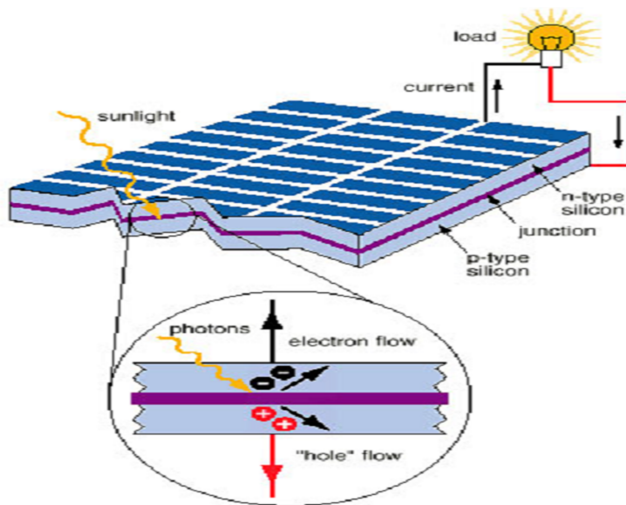


**Gambar II.7** Skema Radiasi Matahari Sampai ke Bumi

a) **Photovoltaic (PV) Cells**

Pada *photovoltaic cell* atau *solar cell*, radiasi matahari ditransformasi secara langsung menjadi energi listrik. *Solar cell* terdiri dari disc atau permukaan dengan dua lapisan tipis dari bahan semi konduktor yang berbeda. Logam *stripes* membentang di sepanjang permukaan depan dan sepanjang permukaan belakang berisi plat logam. Ketika radiasi matahari masuk ke dalam lapisan atas, *disc* akan terpolarisasi. Lapisan atas bermuatan negatif dan lapisan yang lebih bawah bermuatan positif. Jika logam strip dan logam plat dihubungkan dengan sirkuit tertutup, dimana arus listrik akan mengalir melalui sirkuit tersebut. Jadi energi listrik dapat dicapai. Umumnya, *output voltage* dari panel surya berkisar 12-24 volt (Rona, 2004).

Efisiensi sel dengan menggunakan silikon (yang paling umum digunakan) adalah 15%. Untuk meningkatkan efisiensi terdapat beberapa penelitian yang berfokus pada kemungkinan beberapa material dengan sensitifitas frekuensi yang berbeda. Harapannya dapat mencapai efisiensi sebesar 50% (Rona, 2004).



**Gambar. II.8** Prinsip *Silicon Photovoltaic Cell*

### b) *Thermal Collectors*

Mengubah energi radiasi matahari menjadi panas adalah salah satu teknologi *solar conversion* yang umum dan berkembang dengan baik saat ini. Prinsip dasar dari *solar thermal collection* adalah ketika radiasi matahari mencapai permukaannya, sebagian energi tersebut akan diserap, sehingga suhu permukaan akan meningkat. Efisiensi pada kolektor ini tidak hanya bergantung pada efisiensi absorpsi saja tapi juga pada bagaimana heat losses dapat diminimalkan dan bagaimana panas dari kolektor dapat dipindahkan untuk tujuan tertentu. Berikut adalah tipe-tipe thermal kolektor dan suhu operasinya (Goswami, 2015).

**Tabel II.1** Tipe-Tipe *Thermal Colector* dan Range Suhu Operasinya

Type of Collector	Concentration Ration	Typical Working Temperature Range (°C)
Flat plate collectors	1	≤70
High efficient flat plate collectors	1	60-120
Fixed concentrators (non imaging)	3-5	100-150
Parabolic trough collectors	10-50	150-350
Parabolic dish collectors	200-500	250-700
Central receivers	500->3000	500-<1000

Menurut penelitian yang dilakukan Ariane Rosario (2014), panas yang terkumpul dari *solar thermal collector* dapat dimodelkan menggunakan persamaan neraca energi yang sederhana sebagai berikut :

$$E = 2 \int_0^{\tau} S \cos(\theta_z) dt$$

Dimana setiap parameternya dapat diselesaikan berdasarkan persamaan-persamaan berikut :

$$S = I E_0$$

$$E_0 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right)$$

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varphi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\varphi) \sin(\delta)$$

$$\omega = 0.2618 t$$

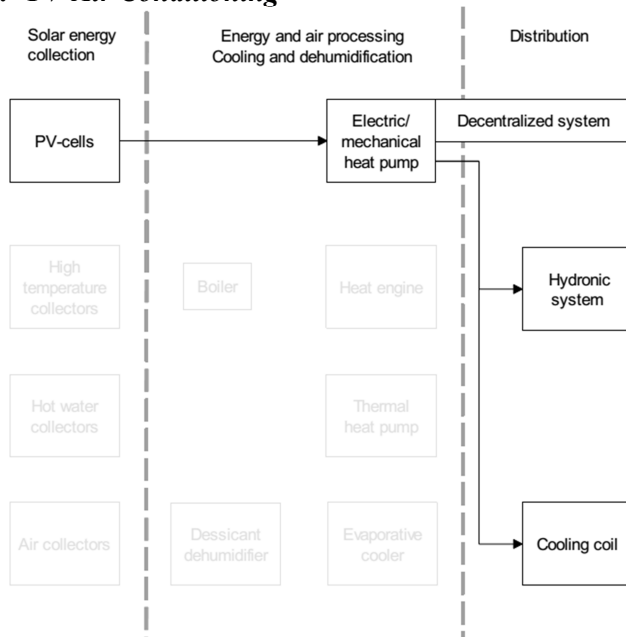
$$\delta = \frac{\pi}{7.6759} \sin\left(\frac{2\pi(n + 284)}{365}\right)$$

$$\tau = \frac{1}{0.2618} \cos^{-1}\left(\frac{-\sin(\varphi) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta)}\right)$$

## II.4. Tipe-Tipe Konfigurasi *Solar Air Conditioning*

Konfigurasi *solar air conditioning* sangat bervariasi. Menurut Rona (2004), konfigurasi *solar air conditioning* dapat diklasifikasi sebagai berikut :

### II.4.1. *PV Air Conditioning*

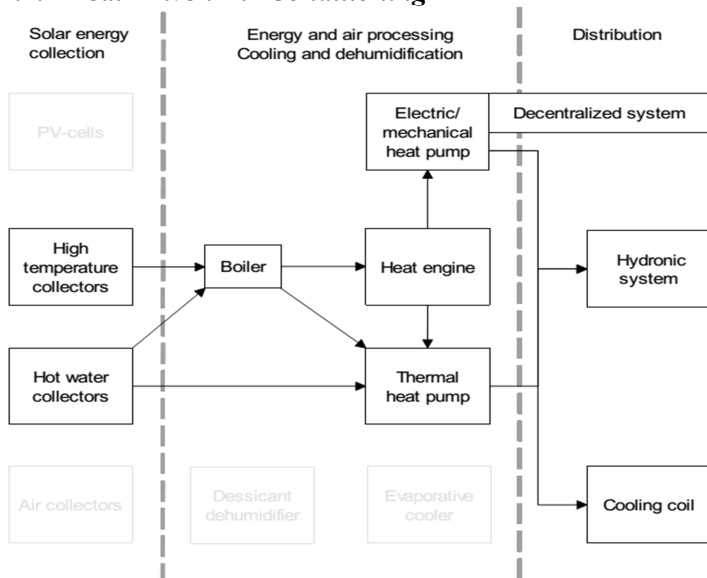


**Gambar II.9** Skema Konfigurasi *Photovoltaic Air Conditioning*

Sistem PV *air conditioning*, seperti yang diilustrasikan pada skema di atas, terdiri dari sel PV yang menyediakan energi listrik untuk satu atau beberapa *electric heat pump*, *Heat pump* yang bertugas untuk mendinginkan ruangan dalam sistem decentralized, koil pendingin maupun sistem *hybrid* dan sebuah rectifier untuk mengubah arus DC dari sel PV menjadi arus AC untuk menggerakkan pompa (Rona, 2004).

Beberapa keuntungan tipe konfigurasi ini antara lain nilai  $COP_{sol}$  cukup tinggi (0,25-0,56). Selain itu, umumnya konfigurasi ini menggunakan sistem *vapor compression* yang sering digunakan, sehingga memudahkan proses perbaikannya. Sedangkan kerugian tipe ini, yaitu harga sel PV-nya relatif mahal. Dengan harga yang mahal, konfigurasi ini secara ekonomi tidak sesuai untuk sistem bangunan yang kecil.

#### II.4.2. *Heat Driven Air Conditioning*

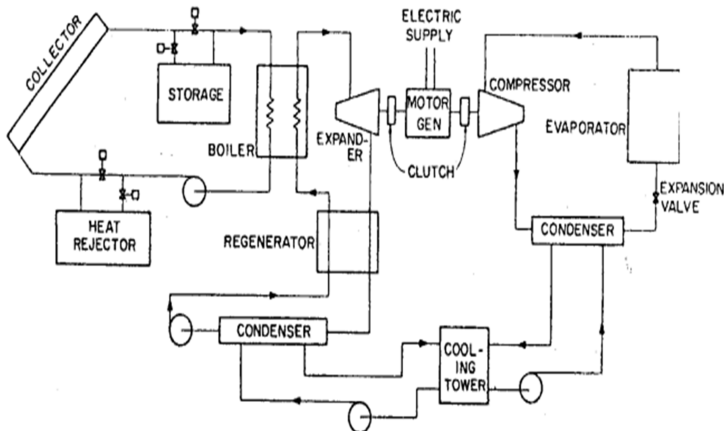


**Gambar II.10** Skema Konfigurasi Sistem *Heat Driven Air Conditioning*

Sistem *solar heat driven air conditioning* ini terdiri dari *solar thermal collector* yang berfungsi untuk mengumpulkan panas dari radiasi matahari dan beberapa sistem lainnya yang dapat mengubah panas yang dikumpulkan menjadi energi untuk proses pendinginan. Sistem tersebut dapat berupa *heat engine* yang bergerak secara mekanik atau *electrical heat pump*, *thermal heat pump* atau keduanya.

**a) Heat Engine Driven Air-Conditioning System**

Dalam sistem ini, panas dari *solar collector* ditransformasikan menjadi *mechanical work*. *Mechanical work* ini dapat digunakan secara langsung untuk *power* dari *mechanical heat pump* atau diubah ke energi listrik.



**Gambar II.11** Sistem *Duplex Rankine Cycle Solar Air Conditioning*

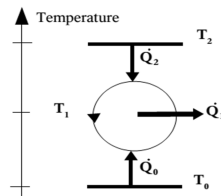
Gambar II.11 mengilustrasikan sebuah siklus *duplex Rankine*, dimana sebuah generator listrik atau motor dapat dihubungkan dengan *power cycle*, siklus pendinginan maupun keduanya. Dengan cara ini kelebihan daya dapat diambil untuk diumpankan ke jaringan listrik dan *auxiliary power* dapat diumpankan ke siklus pendinginan. Pilihan yang lain adalah dengan memanfaatkan furnace sebagai *auxiliary power*. Kemudian siklus daya tersebut dapat tetap beroperasi setiap



waktu dan kelebihan listrik dikirimkan ke jaringan listrik. Karena sistem ini terdiri dari banyak bagian yang bergerak, maka sistem ini memerlukan proses *maintenance* yang banyak pula. Selain itu, jika dibandingkan dengan *thermal heat pump*, sistem ini jauh lebih kompleks dan lebih mahal (Rona, 2004).

#### b) *Thermal Heat Pump Air-Conditioning Systems*

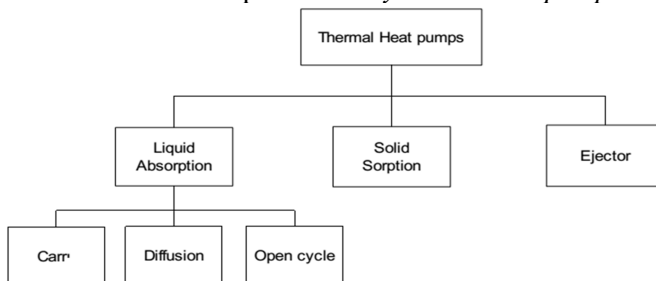
Pada sistem ini, panas dari *solar collectors* digunakan untuk menghilangkan panas dari ruang yang akan dikondisikan secara langsung dengan cara sebagai berikut :



**Gambar II.12** Skema Kerja *Heat Pump* dengan Tiga Level Temperatur

Prinsip kerja dari *Heat pump* seperti yang ditunjukkan pada gambar II.12 di atas adalah panas  $Q_2$  dari level suhu yang tinggi  $T_2$  digunakan untuk memompa panas  $Q_0$  dari level suhu yang rendah  $T_0$ .  $Q_2$  dan  $Q_0$  akan dikeluarkan pada level suhu  $T_1$  (Suhu antara  $T_2$  dan  $T_0$ ) sebagai  $Q_1$  ( $Q_1 = Q_2 + Q_0$ ).

Bagan berikut akan menjelaskan beberapa teknik yang digunakan untuk mencapai *thermally driven heat pumps*.



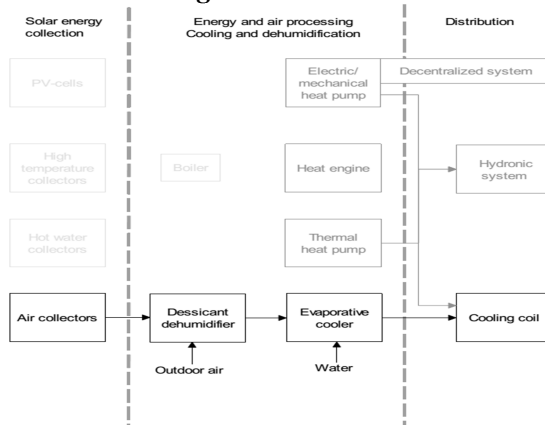
**Gambar II.13** Teknik-Teknik yang Digunakan Untuk Aplikasi *Thermal Heat Pump*

Dalam pengaplikasiannya, *single effect H<sub>2</sub>O/LiBr absorption chiller* dipanaskan dengan *flat plat collector* sering digunakan dalam pengoperasian sistem *solar air conditioning*.

### c) Sistem Kominasi

Sistem kombinasi ini merupakan gabungan dari sistem *heat engine* dan *thermal heat pump*. Pada sistem ini panas dikirim dari sistem *solar collection* ke *heat engine*, dimana sebagian panas akan digunakan untuk menghasilkan *mechanical work*. Sedangkan sebagian yang lain akan digunakan untuk memberi daya pada *thermal heat pump*. Sebagai contoh panas yang dihasilkan dari *Brayton heat engine* dapat digunakan untuk menjalankan *double effect absorption chiller*. Panas yang dihasilkan dari *Rankine steam engine* dapat digunakan untuk menjalankan *single effect absorption chiller*. *Mechanical work* yang dihasilkan oleh *heat engine* dapat digunakan secara bersamaan dengan *thermal heat pump* dalam proses pendinginan atau dapat digunakan untuk menyediakan listrik untuk jaringan lokal atau publik, sedangkan *thermal pump* akan digunakan untuk mendinginkan.

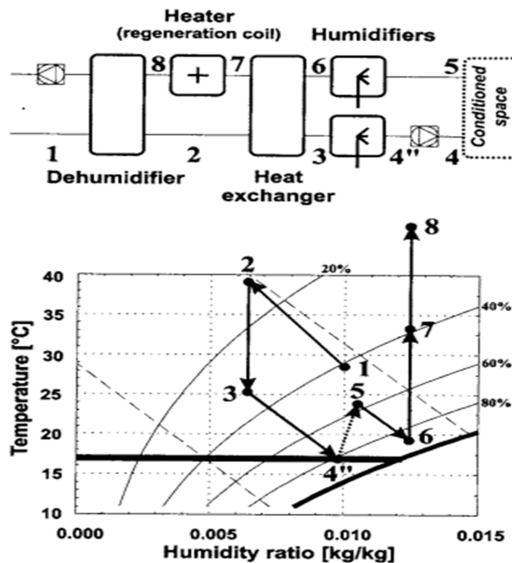
### II.4.3. Desiccant Cooling



**Gambar. II.14** Skema *Solar Driven Desiccant Cooling System*

Pada sistem *desiccant cooling* seperti yang digambarkan di dalam skema di atas, proses *desiccant dehumidification* dikombinasikan dengan sistem pendinginan. Proses pendinginannya dapat berupa pendingin koil atau *evaporative cooling* (Rona, 2004).

Sistem yang menggunakan proses *evaporative cooling* disebut sistem *all desiccant cooling*, dimana proses dehumidifikasi digunakan untuk meningkatkan potensi pendinginan pada *direct evaporative cooling*. Sedangkan sistem yang menggunakan pendingin yang umum digunakan seperti koil pendingin untuk menghilangkan panas *sensible* disebut sistem *hybrid desiccant cooling*, dimana proses dehumidifikasi digunakan untuk menghilangkan *latent load* dari udara *supply* saat koil pendingin menghilangkan *sensible load* (AGCC, 1999).



**Gambar. II.15** Skema dan Mollier Chart Siklus Pennington All-Desiccant

Gambar II.15 menggambarkan siklus *all desiccant* yang paling umum atau yang disebut dengan siklus Pennington. Berikut adalah uraian proses dari siklus Pennington :

- **Proses 1-2**

Udara yang hangat dan lembab dari luar ruangan masuk ke dalam proses melalui *desiccant wheel*. Udara tersebut akan melalui proses dehumidifikasi, dimana panas laten akan berubah menjadi panas sensible. Pada proses ini temperatur *dry bulb* udara akan meningkat.

- **Proses 2-4**

Udara keluar dari *desiccant wheel* pada kondisi panas dan kering. Untuk mengurangi suhu *dry bulb* dari udara maka dilakukan proses pendinginan melalui proses *direct* maupun *indirect evaporative cooling*.

- **Proses 4-5**

Ketika udara masuk ke ruangan yang akan dikondisikan, baik panas laten maupun sensiblenya sudah diserap.

- **Proses 5-7**

Pertama udara *reactivation* melalui *indirect evaporation cooler*, dimana pada proses ini udara *reactivation* akan mengambil panas *sensible* dari udara proses. Pada titik (7) udara *reactivation* dipanaskan secara laten dengan proses humidifikasi dan secara *sensible* dengan perpindahan panas dari udara proses.

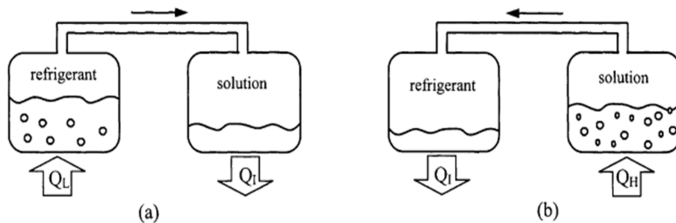
- **Proses 7-8**

Udara reaktivasi dipanaskan hingga suhunya cukup tinggi untuk terjadi reaktivasi. Udara reaktivasi mengalir melalui bagian reaktivasi pada *desiccant wheel* untuk menghilangkan air yang telah diadsorpsi oleh *desiccant*.

Sedangkan pada siklus *hybrid*, proses evaporasi diganti dengan proses *sensible cooling* dengan koil pendingin. Sistem ini memisahkan proses dehumidifikasi dan pendinginan *sensible* dari udara proses. Hal ini akan menguntungkan untuk efisiensi chiller karena temperatur evaporasi akan dinaikkan. Memisahkan proses penghilangan panas laten dan *sensible* juga membuat sistem lebih mudah di atur (Rona, 2004).

## II.5. *Solar Absorption Chiller*

Prinsip kerja dari *absorption chiller* berbeda dengan *compression chiller*, dimana *absorption chiller* lebih memanfaatkan energi panas dibandingkan energi mekanik dalam proses pendinginan (Henninger, R et al, 1998).

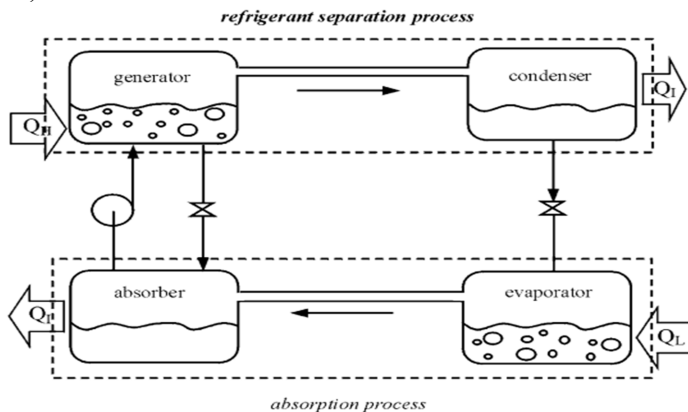


**Gambar II.16** Prinsip Dasar Operasi *Absorption Refrigeration*

*Working fluid* dalam sistem *absorption refrigeration* adalah sebuah larutan biner yang terdiri dari refrigeran dan absorben. Pada gambar II.16 (a), dua bejana yang tertutup dihubungkan satu sama lain. Bejana pada sebelah kiri berisi *liquid refrigerant* sedangkan pada sebelah kanan berisi larutan biner absorben dan refrigeran. Larutan pada bejana yang kanan akan mengabsorpsi uap refrigeran dari bejana yang kiri dan menyebabkan penurunan tekanan. Saat uap refrigeran diabsorpsi, suhu refrigeran akan menurun sebagai hasil dari proses penguapannya. Hal ini menghasilkan efek pendinginan di dalam bejana kiri. Pada saat yang sama, larutan di dalam bejana kanan menjadi lebih encer karena adanya refrigeran yang terabsorpsi. Proses ini disebut proses absorpsi. Umumnya proses ini berlangsung secara eksotermis, sehingga sistem akan melepaskan panas ke lingkungan untuk mempertahankan kemampuan absorpsinya (Sriksirin, P, et al, 2001).

Namun, larutan tidak dapat melanjutkan proses absorpsi, karena penjumlahan akibat refrigeran. Oleh karena itu refrigeran harus dipisahkan dari larutan yang encer. Panas merupakan kunci utama dari proses pemisahan. Hal ini diaplikasikan pada bejana

kanan dengan tujuan untuk mengeringkan refrigeran dari larutan seperti yang tergambar dari gambar II.16 (b). Uap refrigeran akan dikondensasi dengan mentransfer panas ke lingkungan. Dengan proses ini, efek pendinginan dapat dihasilkan dengan menggunakan energi panas. Kedua proses di atas tidak dapat berjalan sendiri-sendiri, oleh karena itu perlu dilakukan kombinasi keduanya dalam membentuk suatu siklus pendingin seperti yang tergambar pada gambar II.17 (Srikhirin, P, et al, 2001).



**Gambar II.17** Siklus Pendingin pada *Absorption Refrigerator*

Performa dari sistem *absorption refrigeration* ini bergantung pada sifat kimia dan termodinamika dari *working fluid*. Kebutuhan dasar dari kombinasi absorben dan refrigeran (dalam fase *liquid*) adalah keduanya harus mempunyai daya pencampuran yang rendah pada range suhu operasi siklus. Campuran juga harus bersifat stabil, tidak beracun dan tidak eksplosif. Selain itu diperlukan juga syarat-syarat sebagai berikut :

- Perbedaan titik didih yang cukup jauh antara refrigeran dan absorben
- Refrigeran harus mempunyai panas penguapan dan konsentrasi yang tinggi dalam absorben untuk menjaga rate

sirkulasi yang rendah antara generator dan absorber per satuan kapasitas pendinginan

- *Transport properties* yang mempengaruhi perpindahan massa dan panas seperti viskositas, *thermal conductivity* dan koefisien difusi harus baik
- Baik refrigeran maupun absorben harus non korosif, ramah lingkungan dan murah

Efisiensi pada sistem ini biasanya dihitung berdasarkan nilai COP (*Coefficient of Performance*). Berikut adalah persamaan untuk menghitung nilai COP.

$$\text{COP} = \frac{\text{kapasitas pendinginan yang dicapai oleh evaporator}}{\text{energi yang dibutuhkan proses}}$$

Sistem Pendingin ini mempunyai beberapa keuntungan seperti, ramah lingkungan karena menghilangkan penggunaan CFC dan HCFC yang tidak ramah lingkungan, sistem bertekanan rendah dan *low maintenance*.

## II.6. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian mengenai pengembangan sistem pendingin ruangan bertenaga matahari telah dilakukan. Berikut adalah uraian singkat mengenai penelitian-penelitian terdahulu :

Li dan Sumathy (2001) mempresentasikan hasil dari sistem air conditioning bertenaga matahari. Sistem tersebut menggunakan *flat plate collector array* dengan luas permukaan sebesar 38 m<sup>2</sup> untuk menggerakkan rangkaian proses *single effect* LiBr + air *absorption chiller* dengan kapasitas pendinginan 4,7 kW. Sistem ini juga dilengkapi dengan dua tangki penampung air panas. Nilai SCR yang didapat sebesar 0,07. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa pada cuaca yang berawan, sistem tidak dapat beroperasi secara yang umum digunakan.

Syed et al (2005) melaporkan performa *single effect* LiBr + air *absorption chiller* dengan kapasitas pendinginan nominal 35 kW yang digerakkan oleh air panas dari 49,9 m<sup>2</sup> *flat plate collector* dan 2 m<sup>3</sup> tangki penampung air panas selama matahari bersinar. Nilai SCR berkisar 0,11. Maksimal kapasitas

pendinginan sebesar 7,5 kW (21% dari nominal) dan COP sebesar 0,34-0,42.

Zambrano et al. (2008) mempresentasikan hasil dari *single effect* LiBr + air dengan nominal kapasitas pendinginan sebesar 35 kW yang digerakkan dengan air panas dari 151 m<sup>2</sup> *flat plate collector* dan dilengkapi dengan *auxiliary gas fired burner* serta 2,5 m<sup>3</sup> tangki penampung. *Auxiliary gas fired burner* dimanfaatkan untuk menunjang panas radiasi matahari ketika panas radiasi matahari tidak cukup untuk menggerakkan sistem. Nilai SCR yang didapatkan 0,15 dan SHF bervariasi dari 0,1 hingga 1 bergantung pada posisi matahari.



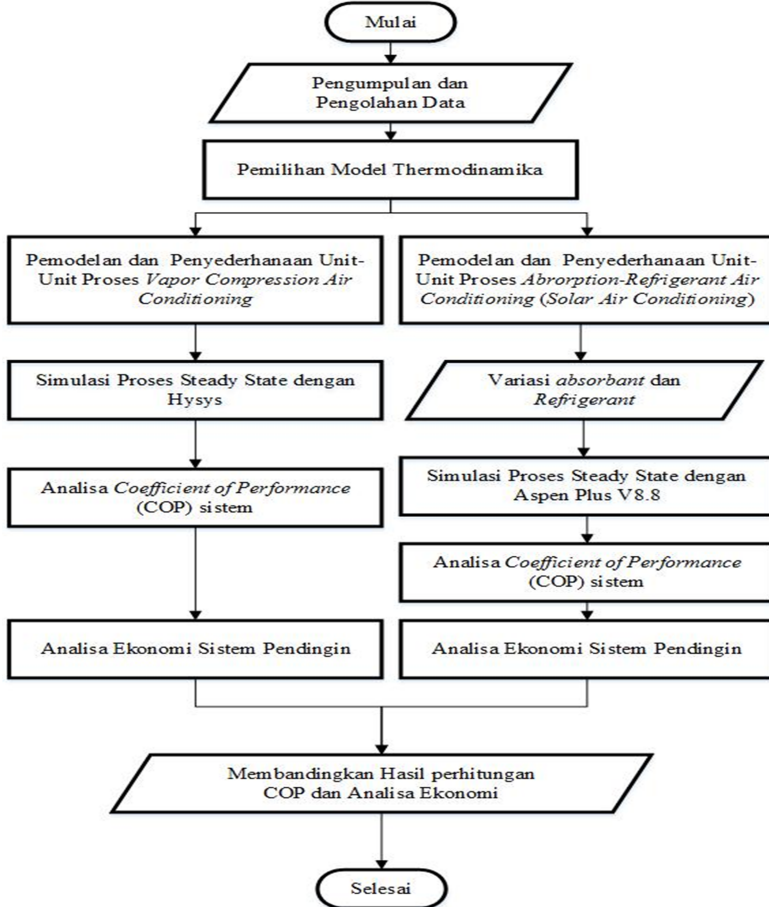


# **BAB III**

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan digunakan dua model skema alat yaitu *vapor compression air conditioning* (AC yang umum digunakan) dan *Absorption-Refrigerant air conditioning* (*Solar air conditioning*) dengan tahapan sebagai berikut :



Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian digunakan variabel sebagai berikut :  
Variabel tetap = Kapasitas pendingin  
Variabel bebas = Jenis *working fluid* dan komposisinya

### III.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengambilan data yang dilakukan untuk mencapai simulasi yang mendekati kondisi sebenarnya. Data operasi steady state dan data analisa lapangan diperoleh dari literatur.

Data operasi yang dipergunakan untuk simulasi ini adalah:

- Tekanan operasi pada masing-masing unit
- Laju alir udara indoor dan outdoor
- Temperatur masing-masing aliran
- Komposisi Absorben/Refrigeran

Sedangkan data analisis perhitungan matematis yang dipakai untuk simulasi ini adalah:

- Data besarnya energi radiasi matahari di Surabaya
- Data rata-rata suhu ambien di Surabaya

Salah satu data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah suhu udara kota Surabaya. Data mengenai suhu udara kota Surabaya ini akan digunakan untuk menetapkan suhu media pendingin udara *outdoor* dan suhu udara *indoor* yang akan didinginkan. Berikut ini adalah data suhu rata-rata udara kota Surabaya pada siang hari selama satu tahun yang diperoleh dari data [accuweather.com](http://accuweather.com) (2016).

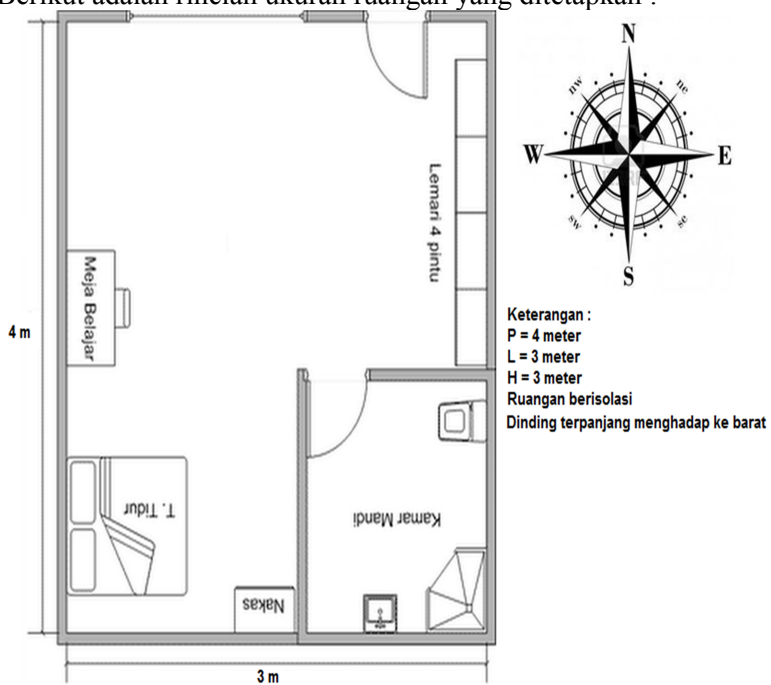
Dari data tersebut terlihat data suhu udara rata-rata kota Surabaya dalam satu tahun mengalami perubahan. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan rata-rata suhu kota Surabaya pada siang hari dan didapatkan suhu rata-rata sebesar 33,5°C.

Suhu rata-rata yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 33,5°C ini, ditetapkan sebagai suhu media pendingin udara *outdoor* dan suhu udara *indoor* yang akan didinginkan pada tahap simulasi AC komersial dan *solar air conditioning*.

- Data kapasitas pendinginan

Pada penelitian ini, akan ditetapkan ukuran ruangan yang akan didinginkan sebagai variabel tetap. Ukuran ruangan yang

dipilih adalah ukuran standar kamar tidur sebesar 4 x 3 x 3 meter. Berikut adalah rincian ukuran ruangan yang ditetapkan :



**Gambar III.2** Rincian Ukuran Ruangan yang Ditetapkan

Dari data ukuran ruangan tersebut, dilakukan perhitungan kapasitas pendinginan ruangan yang ideal. Kapasitas pendinginan ruangan yang ideal dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Kapasitas pendinginan (Btu/jam)} = \frac{(W \times H \times I \times L \times E)}{60}$$

Dimana:

W = Panjang ruang (dalam feet)

H = Tinggi ruang (dalam feet)

I = Nilai 10 jika ruang berisolasi atau nilai 18 jika ruang tidak berisolasi

L = Lebar ruang (dalam feet)

E = Nilai 16 jika dinding terpanjang menghadap utara  
Nilai 17 jika dinding terpanjang menghadap timur  
Nilai 18 jika dinding terpanjang menghadap selatan  
Nilai 20 jika dinding terpanjang menghadap barat

Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan di atas, maka di dapatkan kapasitas pendinginan ruangan sebesar 5000 btu/jam atau setara dengan AC komersial  $\frac{1}{2}$  PK. Kapasitas pendinginan ini yang kemudian dijadikan basis proses simulasi baik untuk AC komersial maupun *solar air conditioning*.

- Data efisiensi *solar collector*

Untuk data desain (ukuran) peralatan, digunakan data default yang disarankan dari *software* Aspen Plus.

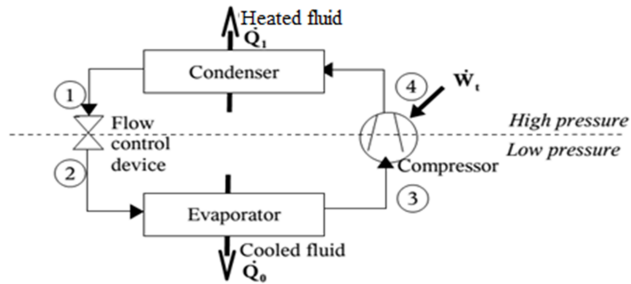
### III.2 Pemilihan Model Termodinamika (*Fluid Package*)

Pemilihan termodinamika didasarkan pada komponen-komponen yang terlibat dan kondisi operasi. Agar program simulasi dapat berjalan dengan baik, harus dilakukan pemilihan model termodinamika dengan tepat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Somers, et al (2011), model termodinamika yang sesuai untuk proses pendinginan dengan tipe *absorption-refrigeration* ini adalah ELECTNRTL. Sedangkan menurut Ibanez, et al (2013), model termodinamika yang sesuai untuk tipe *vapor compression air conditioning* (AC yang umum digunakan) adalah peng-robinson. Oleh karena itu, pada simulasi ini, digunakan model termodinamika ELECTNRTL untuk simulasi *solar air conditioning* dan model termodinamika peng-robinson untuk simulasi *vapor compression air conditioning*.

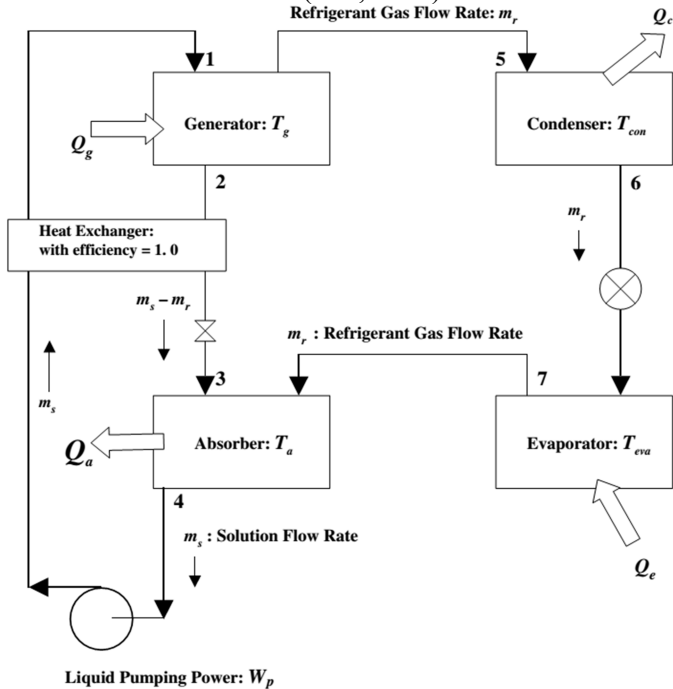
### III.3 Pemodelan dan Penyederhanaan Unit –Unit Proses

Pada tahap ini dilakukan tahap penyederhanaan dan penyesuaian model proses dengan peralatan-peralatan yang tersedia pada *software* Aspen Plus. Model proses yang akan disederhanakan adalah proses pendinginan dengan sistem *vapour compression air conditioning* dan *absorbant-refrigerant solar air conditioning*. Berikut adalah skema proses yang akan

disederhanakan dan dimodelkan berdasarkan ketersediaan dan kesesuaian alat di program Aspen Plus.



**Gambar III.3** Skema Proses *Vapor Air Conditioning System*  
(Pita, 2002)



**Gambar III.4** Skema Proses *Absorption-Refrigeration Solar Air Conditioning* (Yokozeki, 2005)

### III.4 Simulasi dan Validasi Simulasi *Steady State*

Pada tahap simulasi ini akan dilakukan proses *running* kedua model yang telah disederhanakan di tahap sebelumnya. Untuk simulasi *absorption-refrigeration solar air conditioning system* akan dilakukan variasi penggunaan *absorbent-refrigerant pair (working fluid)* yang berbeda dengan kondisi operasi yang sama. *Working fluid* yang digunakan antara lain : LiBr/H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub>, LiNO<sub>3</sub>/NH<sub>3</sub> dan NMP/R32.

Dari hasil simulasi *steady state* yang telah konvergen, dilakukan validasi hasil simulasi yang diperoleh dengan data desain (kapasitas pendinginan).

### III.5 Analisa Perhitungan COP (*Coefficient of Performance*)

Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan nilai COP dari hasil simulasi yang didapatkan. Perhitungan COP dapat dilakukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{COP} = \frac{\text{kapasitas pendinginan yang dicapai oleh evaporator}}{\text{energi yang dibutuhkan oleh proses}}$$


Setelah hasil perhitungan COP dilakukan, kemudian dilakukan perbandingan antara :

- Model I (*vapor compression air conditioning*) dengan Model II (*absorption-refrigeration solar air conditioning*)
- Jenis *working fluid* yang digunakan pada sistem *absorption-refrigeration solar air conditioning*

### III.6 Analisa Ekonomi

Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan beberapa aspek ekonomi, seperti :

- *Capital cost* dari unit-unit proses untuk masing-masing sistem
- *Energy cost* mencakup biaya untuk kebutuhan energi listrik



# **BAB IV**

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Energi yang dihasilkan *Solar Thermal Collector*

Tahap awal dari penelitian adalah menghitung total energi yang diserap oleh *solar thermal collector* yang ditempatkan di Surabaya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ariane Rosario (2014), total energi yang diterima oleh *solar thermal collector* per-harinya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = 2 I E_0 \left[ \left( \cos(\varphi) \cos(\delta) \left[ \frac{\sin(0.2618 \tau)}{0.2618} \right] \right) + (\sin(\varphi) \sin(\delta) \tau) \right]$$

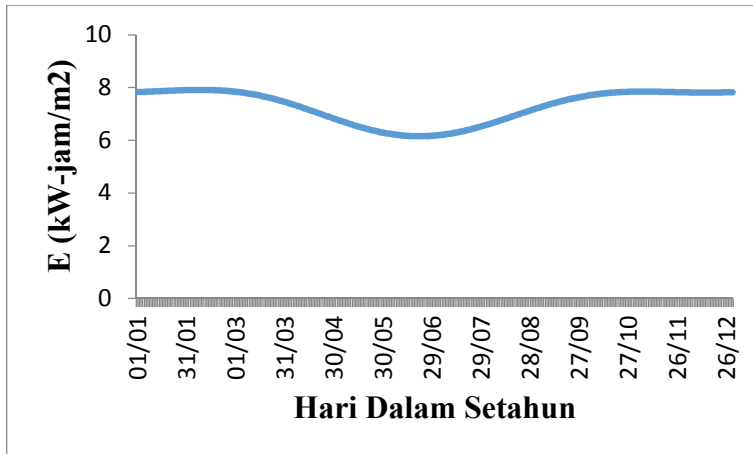
Untuk menghitung total energi yang diterima oleh *solar thermal collector* berdasarkan persamaan IV-7 di atas, dibutuhkan data koordinat posisi kota surabaya.



**Gambar IV.1** Koordinat Posisi Kota Surabaya

Berdasarkan data yang diperoleh dari situs [latitudelongitude.org](http://latitudelongitude.org) (2015), secara geografis kota surabaya berada di 7,24917 lintang selatan (806 km dari garis equator) dan 112,75083 bujur timur.

Dari data tersebut, dilakukan perhitungan energi yang diterima *solar thermal collector* setiap harinya dalam satu tahun. Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



**Gambar IV.2** Grafik Paparan Energi yang Diterima *Solar Collector* dalam Setahun

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa paparan energi yang diterima *solar thermal collector* setiap hari dalam setahun mengalami penurunan yang tidak begitu tajam pada bulan November dan kenaikan pada akhir bulan Mei. Hal ini terjadi karena Surabaya mempunyai dua musim, yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Menurut data dari BMKG (2017), Surabaya akan mengalami musim kemarau pada bulan Mei hingga November. Oleh karena itu, pada bulan Mei hingga November paparan energi yang diterima oleh *solar thermal collector* mengalami kenaikan. Sebaliknya pada bulan November hingga Mei, Surabaya mengalami musim penghujan yang mengakibatkan intensitas paparan energi yang diterima *solar thermal collector* cenderung menurun.

Pada penelitian ini ditetapkan tipe *solar thermal collector* yang digunakan adalah *flat plate collector*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Struckmann (2008), *solar flat plate collector* mempunyai efisiensi sebesar 80%. Dari hasil perhitungan didapatkan besaran energi yang diterima *solar thermal collector* sebesar :

$$E_{\max} = 6,329 \text{ kW-hr/m}^2$$

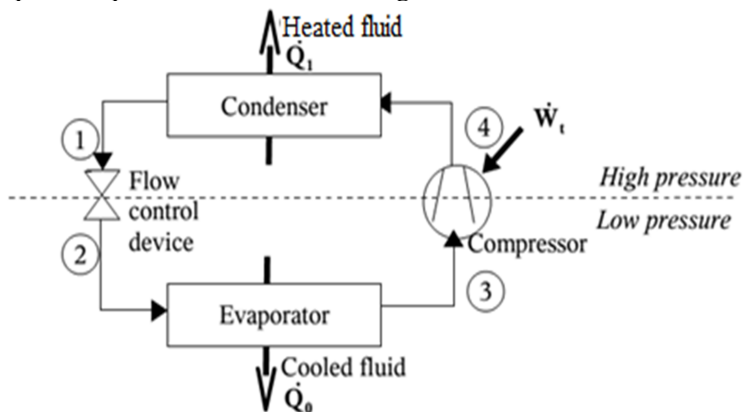
$$E_{\min} = 4,923 \text{ kW-hr/m}^2$$

$$E_{\text{Rata-rata}} = 5,284 \text{ kW-hr/m}^2$$

Dengan waktu operasi selama 10 jam (07.00 hingga 17.00) maka rata-rata energi yang dihasilkan oleh *solar thermal collector* sebesar  $528,4 \text{ W/m}^2$ .

## IV.2 Simulasi AC Komersial

Pada tahap ini akan dilakukan simulasi sistem pendingin udara (*air conditioning*) komersial dengan menggunakan *software* Aspen plus. Proses pendinginan udara pada AC komersial ini umumnya menggunakan sistem pendingin *vapor compression air conditioning*. Berikut adalah blok diagram dari sistem pendingin *vapor compression air conditioning*.



**Gambar IV.3** Blok Diagram Sistem Pendingin *Vapor Compression Air Conditioning*

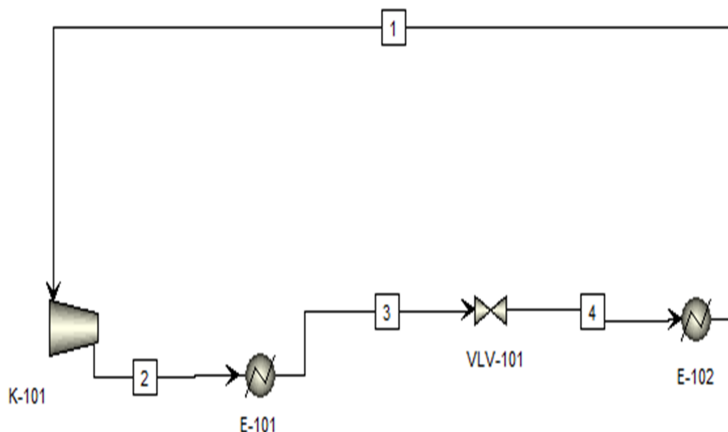
Sistem pendingin *vapor compression air conditioning* terdiri dari empat proses utama yaitu kompresi, kondensasi, ekspansi dan evaporasi (Pita, 1998). Proses-proses ini selanjutnya akan dimodelkan dengan blok-blok proses yang ada di *software* Aspen Plus.

Tahap awal dari proses simulasi adalah pemilihan pendekatan model termodinamika yang akan digunakan. Pada penelitian ini dipilih model termodinamika *Peng-Robinson*

*Equation of State*. Model ini dipilih karena dapat diaplikasikan pada range kondisi yang luas, yaitu untuk suhu lebih besar dari -271°C dan tekanan kurang dari 100.000 kPa (Ibanez, dkk, 2013).

Pada penelitian ini, dipilih *refrigerant* R-22 sebagai *working fluid* untuk sistem pendingin udara komersial. Hal ini dikarenakan sebagian besar pendingin udara (AC) komersial menggunakan *refrigerant* R-22 sebagai *working fluid*-nya (Allgood, 2010).

Setelah itu dilakukan permodelan dengan menggunakan blok-blok proses yang ada di *software* Aspen Plus. Berikut ini adalah hasil permodelan yang telah dilakukan :



**Gambar IV. 4** Blok Proses Sistem Pendingin Udara Komersial dengan Menggunakan *Software* Aspen Plus

Pada simulasi ini, sistem dibentuk oleh empat blok proses, yaitu kompresor (K-101), kondensor (E-101), valve (VLV-101) dan evaporator (E-102).

Blok proses yang pertama adalah kompresor (K-101). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan tekanan dari *working fluid* dan mensirkulasikannya. Pada tahap ini ditetapkan tekanan, vapor fraction, massa dan komposisi dari aliran 1. Aliran 1 merupakan *refrigerant* R22 berfasa uap (*vapor fraction* = 1) dengan massa sebesar 34 kg/jam dan bertekanan 72,327 psig.

Tekanan ini disesuaikan dengan standar freon R22 AC komersial. Dimana Standar tekanan freon R22 AC komersial adalah 57,6 psig hingga 84,1 psig (Panasonic, 2015). Untuk blok K-101 (kompresor) ditetapkan nilai dayanya sebesar 400 watt. Hal ini sesuai standar AC  $\frac{1}{2}$  PK, dimana daya listrik kompresornya 320 watt hingga 400 watt (Panasonic, 2015).

Blok proses yang kedua adalah kondensor (E-101). Pada penelitian ini kondensor dimodelkan dengan menggunakan heat exchanger dengan media pendingin berupa udara *outdoor*. Pada tahap ini terjadi proses pendinginan uap panas refrigeran dari kompresor oleh udara sampai pada temperatur kondensasi, kemudian uap tersebut dikondensasikan.

Blok proses selanjutnya adalah proses ekspansi. Pada penelitian ini proses ekspansi dimodelkan dengan *valve* (VLV-101). Proses ekspansi berlangsung dari aliran 3 ke aliran 4. Pada proses ini terjadi penurunan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi menjadi tekanan evaporasi. Pada waktu cairan diekspansi melalui katup *valve* ke evaporator, temperatur refrigeran juga turun dari temperatur kondensat ke temperatur evaporasi. Proses ini merupakan proses adiabatik, dimana entalpi fluida tidak berubah disepanjang proses. Refrigerant pada aliran 4 berada pada kondisi campuran uap.

Blok proses terakhir adalah proses penguapan yang terjadi pada evaporator dan berlangsung pada tekanan konstan. Pada penelitian ini proses evaporasi dimodelkan dengan *heater*. Refrigeran pada aliran satu yang keluar dari evaporator berada pada kondisi uap jenuh. Selama proses penguapan ini terjadi, terjadi penyerapan kalor dari ruangan yang akan didinginkan. Besarnya kalor yang diserap ditetapkan sebesar 5000 btu/jam.

Dari hasil simulasi kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan energi untuk AC komersial dengan kapasitas pendinginan sebesar 5000 btu/jam. Energi yang dibutuhkan berasal dari kebutuhan daya listrik kompresor. Daya listrik kompresor didapatkan dari hasil simulasi. Berikut adalah rincian kebutuhan energi AC komersial.

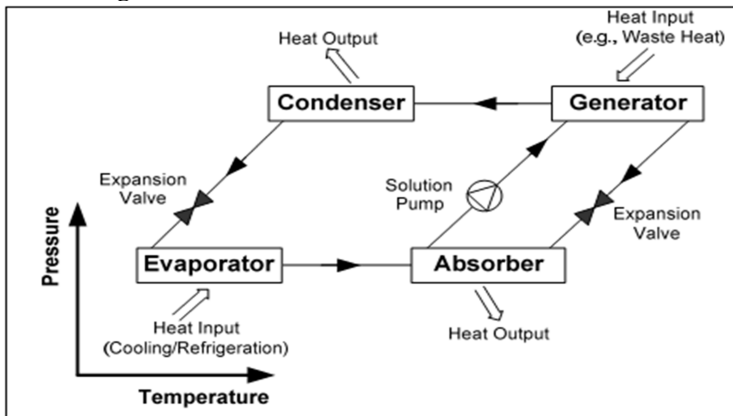
**Tabel IV.1** Rincian Kebutuhan Energi AC Komersial

Kebutuhan Listrik	Daya (kW)
Daya Kompresor	0,4

Jadi untuk mendinginkan ruangan dengan kapasitas pendingin sebesar 5000 btu/jam, dibutuhkan total energi listrik sebesar 0,4 kW.

### IV.3 Simulasi *Solar Air Conditioning*

Pada tahap ini akan dilakukan simulasi sistem pendingin udara bertenaga matahari (*solar air conditioning*) dengan menggunakan software Aspen plus. Proses pendinginan udara pada *solar air conditioning* ini menggunakan sistem pendingin *absorption-refrigerant air conditioning*. Berikut adalah blok diagram dari sistem pendingin *absorption-refrigerant air conditioning* :



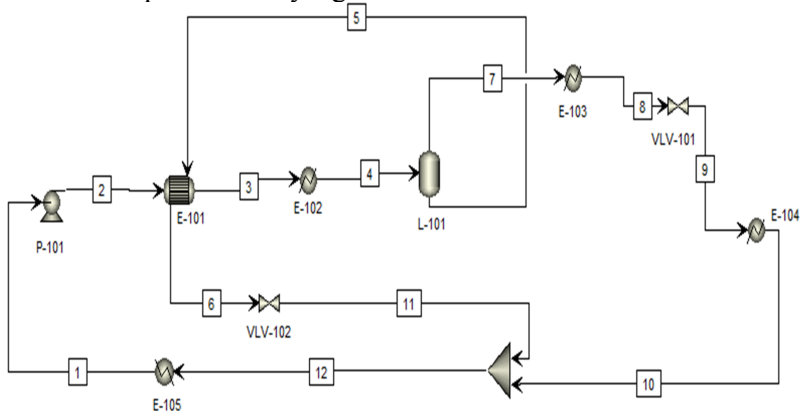
**Gambar IV.5** Blok Diagram Sistem Pendingin *Absorption-Refrigerant Air Conditioning*

Sistem pendingin *absorption-refrigerant air conditioning* terdiri dari lima unit proses utama, yaitu *solution pump*, generator, kondensor, evaporator dan absorber (Somers, 2009). Proses-proses ini selanjutnya akan dimodelkan dengan blok-blok proses yang ada di *software* Aspen plus.

Pada penelitian ini digunakan 4 jenis *working fluid* yang berbeda sebagai variabel. Keempat *working fluid* tersebut antara lain : LiBr-H<sub>2</sub>O, LiNO<sub>3</sub>-NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>, NMP-R32.

Tahap awal dari proses simulasi adalah pemilihan pendekatan model termodinamika yang akan digunakan. Untuk simulasi dengan menggunakan *working fluid* berupa LiBr-H<sub>2</sub>O dan LiNO<sub>3</sub>-NH<sub>3</sub> digunakan model termodinamika ELECNRTL. Model ini digunakan karena model ini didesain secara spesifik untuk larutan elektrolit seperti LiBr-H<sub>2</sub>O (Somers, 2009). Berbeda dengan *working fluid* LiBr-H<sub>2</sub>O dan LiNO<sub>3</sub>-NH<sub>3</sub>, model termodinamika ELECNRTL tidak sesuai untuk *working fluid* H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub> dan NMP-R32. Oleh karena itu, dipilih model termodinamika yang berbeda. Karena tidak ada model termodinamika yang spesifik untuk tipe *working fluid* ini, maka digunakan model termodinamika yang umum digunakan. Model termodinamika yang tepat adalah Peng-Robinson (Somers, 2009).

Setelah itu dilakukan permodelan dengan menggunakan blok-blok proses yang ada di *software* Aspen Plus. Berikut ini adalah hasil permodelan yang telah dilakukan :



**Gambar IV.6** Simulasi *Solar Air Conditioning (Absorption-Refrigeration Air Conditioning System)* dengan Menggunakan *Software* Aspen Plus V8.8

### ***State Point 1***

Proses pemodelan dengan menggunakan software Aspen plus ini diawali dengan menetapkan kondisi awal pada aliran 1. Input untuk aliran 1 berupa bagian tekanan rendah, fraksi uap sebesar 0 (*saturated liquid*), aliran masa dan konsentrasi absorban dan refrigeran dalam larutan *working fluid*. Pada penelitian ini ditetapkan perbandingan absorban dan refrigeran sebesar 45%:55%, 50%:50% dan 55:45%.

### **Pompa (P-101)**

Pompa diletakkan diantara aliran 1 dan aliran 2 pada model di atas dengan tujuan untuk meningkatkan tekanan aliran dan mengalirkan *working fluid* menuju ke generator. Pompa hanya membutuhkan 1 input saja, yaitu tekanan aliran 2 yang keluar dari pompa.

### ***Solution Heat Exchanger (E-101)***

*Solution heat exchanger* digunakan untuk memanfaatkan panas yang dihasilkan proses untuk memanaskan aliran *working fluid* sebelum masuk ke generator (*solar thermal collector*). Pada unit ini terjadi perpindahan panas dari aliran 5 (aliran panas) ke aliran 2 (aliran dingin), dan menghasilkan aliran 5 dan aliran 3.

### **Generator (E-102 dan L-101)**

Generator terdiri dari dua unit proses, yaitu *solar thermal collector* (E-102) dan tangki *flash separator* (L-101). Pada *solar thermal collector* terjadi proses pemanasan *working fluid* dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber panasnya, akibatnya terjadi penguapan refrigeran dalam larutan *working fluid*. Pada simulasi ini, *solar thermal collector* dimodelkan dengan *heater* dengan sumber energi dari sinar matahari sebesar 0,528 kW. Setelah melalui *solar thermal collector*, *working fluid* menuju ke tangki *flash separator*. Pada tangki ini terjadi proses pemisahan *working fluid* yang teruapkan (*refrigerant*) dengan *working fluid* yang tak teruapkan (absorban). Refrigeran kemudian menuju ke kondensor sedangkan absorban dialirkan menuju absorber.

### **Kondenser (E-104)**



Kondenser dimodelkan dengan menggunakan *cooler*. Pada simulasi ini pressure drop dalam *cooler* diasumsikan nol. Kondenser ini menggunakan media pendingin berupa udara *outdoor*. Uap refrigeran yang masuk ke dalam kondensor keluar dalam kondisi *saturated liquid*.

#### ***Expansion Valve (VLV-101 dan VLV-102)***

Pada simulasi ini digunakan dua valve, satu *refrigerant valve* (VLV-1) dan satu untuk *solution valve* (VLV-2). Model valve yang digunakan adalah *self-explanatory* dan input yang dibutuhkan adalah tekanan aliran keluar valve.

#### ***Evaporator (E-105)***

Permodelan yang digunakan untuk evaporator sama dengan kondensor. Pada simulasi ini digunakan heater sebagai permodelan evaporator. Pada unit ini terjadi proses penyerapan panas dari ruangan yang akan didinginkan. Pada unit ini ditetapkan *pressure drop* sebesar nol dan kapasitas pendinginan (*heat duty*) sebesar 5000 btu/jam.

#### ***Absorber (E-106)***

Permodelan yang digunakan untuk absorber adalah *mixing point* dan *cooler*. Pada proses ini absorban akan menyerap uap-uap refrigeran dan keluar dalam kondisi *saturated liquid*. Oleh karena itu, pada simulasi ini ditetapkan pressure drop sebesar nol dan larutan yang keluar dalam kondisi *saturated liquid*.

Dari hasil simulasi kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan energi untuk sistem *solar air conditioning* dengan kapasitas pendinginan sebesar 5000 btu/jam. Energi yang dibutuhkan berasal dari kebutuhan daya listrik pompa dan energi yang dihasilkan oleh *solar thermal collector*. Daya listrik pompa dan energi yang dihasilkan oleh *solar thermal collector* didapatkan dari hasil simulasi. Berikut adalah rincian kebutuhan energi untuk sistem *solar air conditioning*.

**Tabel IV.2** Rincian Kebutuhan Energi *Solar Air Conditioning*

<i>Working fluid</i>	Ratio	kapasitas pendingin (kW)	Energi yang dibutuhkan (kW)		
			Pompa	<i>Solar Thermal Collector</i>	Total
H <sub>2</sub> O/LiBr	45/55	1,465	1,54E-05	1,810	1,810
	50/50	1,465	1,35E-05	1,800	1,800
	55/45	1,465	1,20E-05	1,794	1,794
NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	45/55	1,465	0,005	1,958	1,963
	50/50	1,465	0,002	1,885	1,887
	55/45	1,465	0,001	1,849	1,851
NH <sub>3</sub> /LiNO <sub>3</sub>	45/55	1,465	0,006	1,790	1,796
	50/50	1,465	0,005	1,781	1,786
	55/45	1,465	0,004	1,774	1,778
R32/NMP	45/55	1,465	0,026	1,945	1,971
	50/50	1,465	0,020	1,948	1,968
	55/45	1,465	0,016	1,909	1,925

Jadi untuk mendinginkan ruangan dengan kapasitas pendingin sebesar 5000 btu/jam, dibutuhkan total energi sebesar 1,778 kW hingga 1,971 kW. Dari simulasi tersebut terlihat bahwa kebutuhan energi paling kecil ketika *working fluid* yang digunakan adalah  $\text{LiNO}_3/\text{NH}_3$  dengan ratio 55% refrigeran dan 45% absorban.

#### IV.4 Analisa *Coefficient of Performance* (COP)

Performa kerja dari sistem pendingin umumnya diukur berdasarkan nilai dari *coefficient of performance* (COP). *Coefficient of performance* (COP) merupakan perbandingan antara kapasitas pendingin (*cooling duty*) per satuan energi yang dibutuhkan (Smith, 2005). *Coefficient of performance* (COP) dapat dirumuskan berdasarkan persamaan berikut (Smith, 2005) :

$$\text{Coefficient of Performance (COP)} = \frac{Q_c}{W}$$

Dimana :  $Q_c$  = kapasitas pendingin (*cooling duty*)

$W$  = Energi yang dibutuhkan proses pendinginan

Sistem *absorption refrigerant* merupakan siklus carnot, sehingga sebagai parameter keefektifan sistem dapat dilakukan perhitungan  $\text{COP}_{\text{carnot}}$  berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_o}{T_c - T_o} \frac{T_H - T_c}{T_H}$$

Dimana parameter T dalam satuan Kelvin

Nilai *coefficient of performance* (COP) akan menunjukkan efisiensi dari suatu sistem pendingin. Semakin tinggi nilai *coefficient of performance* (COP) maka semakin efektif sistem pendinginannya (Smith, 2005).

Berdasarkan persamaan IV.11 di atas, berikut adalah hasil perhitungan nilai *coefficient of performance* (COP) untuk *commercial air conditioning* dan *solar air conditioning system*.

**Tabel IV.3** Hasil Perhitungan COP dari *Commercial Air Conditioning*

<i>Working fluid</i>	Kapasitas Pendingin (kW)	Energi yang Dibutuhkan (kW)	COP
R-22	1,465	0,4	3,663

**Tabel IV.4** Hasil Perhitungan COP dari *Solar Air Conditioning System*

<i>Working fluid</i>	Ratio	kapasitas pendingin (kW)	Energi yang dibutuhkan (kW)			COP	COP <sub>carnot</sub>
			Pompa	<i>Solar Collector</i>	Total		
H <sub>2</sub> O/LiBr	45/55	1,465	1,54E-05	1,810	1,810	0,809	1,25
	50/50	1,465	1,35E-05	1,800	1,800	0,814	1,25
	55/45	1,465	1,20E-05	1,794	1,794	0,817	1,25
NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	45/55	1,465	0,005	1,958	1,963	0,746	3,51
	50/50	1,465	0,002	1,885	1,887	0,776	3,90
	55/45	1,465	0,001	1,849	1,851	0,792	3,92
NH <sub>3</sub> /LiNO <sub>3</sub>	45/55	1,465	0,006	1,790	1,796	0,815	1,27
	50/50	1,465	0,005	1,781	1,786	0,820	1,28
	55/45	1,465	0,004	1,774	1,778	0,824	1,28
R32/NMP	45/55	1,465	0,026	1,945	1,971	0,743	5,21
	50/50	1,465	0,020	1,948	1,968	0,744	5,24
	55/45	1,465	0,016	1,909	1,925	0,761	5,24

Berdasarkan hasil perhitungan *coefficient of performance* (COP) di atas, nilai *coefficient of performance* (COP) untuk sistem pendingin *commercial air conditioning* dengan kapasitas pendingin 5000 btu/jam adalah sebesar 3,663, sedangkan nilai dari *coefficient of performance* (COP) untuk sistem pendingin *solar air conditioning* dengan kapasitas pendingin yang sama berkisar 0,743 hingga 0,824. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa sistem pendingin komersial memiliki COP yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa sistem *absorption refrigeration* mempunyai range COP sebesar 0,5 hingga 1,5, sedangkan sistem *vapor compression* mempunyai nilai COP lebih dari 3. Meskipun nilai COP sistem *absorption refrigeration*

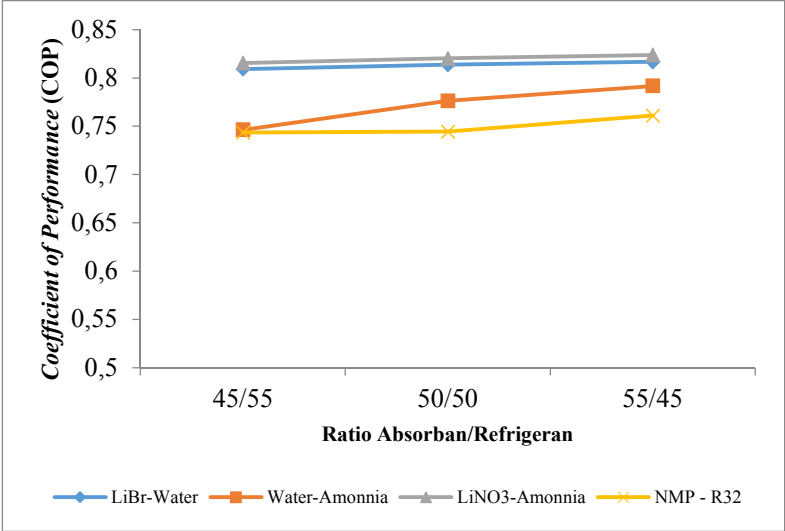
lebih rendah, sistem ini masih dipergunakan secara luas, hal ini dikarenakan sistem ini dapat digunakan dengan utilitas panas bersuhu rendah ( $<100^{\circ}\text{C}$ ). Pada penelitian ini COP untuk sistem *solar air conditioning* tidak dapat dibandingkan dengan sistem AC komersial, karena input energi untuk sistem *solar air conditioning* diperoleh secara gratis (Somers, 2008). Oleh karena itu, untuk membandingkan kedua sistem dilakukan perhitungan penghematan energi listrik yang dapat dicapai.

Dari hasil yang COP yang didapatkan, untuk sistem dengan working fluid LiBr/H<sub>2</sub>O nilai COPnya sebesar 0,809-0,817. Sedangkan penelitian yang telah dilakukan oleh Al-Ugla, dkk pada tahun 2014, untuk sistem single *absorption refrigeration* dengan *working fluid* yang sama (LiBr/H<sub>2</sub>O) yang ditempatkan di Dhahran, Arab Saudi (latitude =  $26,16^{\circ}$  LU) didapatkan nilai COP sebesar 0,8567. Jika dibandingkan dengan penelitian Al-Ugla tersebut, hasil COP pada penelitian ini relatif lebih rendah. Hal ini dikarenakan Dhahran mempunyai rata-rata total energi radiasi matahari harian yang lebih besar ( $5,84 \text{ kWh/m}^2$ ) dibandingkan dengan kota Surabaya ( $5,284 \text{ kWh/m}^2$ ).

Sistem *solar absorption refrigeration* umumnya menggunakan LiBr/H<sub>2</sub>O sebagai *working fluid*nya. Masalah besar dalam penggunaan LiBr/H<sub>2</sub>O sebagai *working fluid* adalah

terjadinya kristalisasi. Kristalisasi terjadi ketika konsentrasi absorban dalam larutan menjadi terlalu tinggi pada temperatur operasinya. Kristal litium bromida yang terbentuk akan menyumbat pada alat-alat seperti heat exchanger sehingga sistem tidak dapat beroperasi dengan baik. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dicari *working fluid* lain yang dapat digunakan sebagai alternatif *working fluid* dalam sistem *solar air conditioning*.

Sistem pendingin *solar air conditioning* memiliki nilai *coefficient of performance* (COP) yang bervariasi, bergantung pada jenis *working fluid* dan komposisi *working fluid*nya. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis *working fluid* dengan 3 variabel komposisi yang berbeda. Berikut adalah hasil *coefficient of performance* (COP) dari variabel-variabel tersebut dalam bentuk grafik :



**Gambar IV.7** Grafik Hubungan Komposisi dengan Komposisi (Absorban/Refrigeran)

Dari grafik di atas terlihat bahwa  $\text{LiNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  memiliki nilai COP yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ . Selain itu penggunaan  $\text{LiNO}_3\text{-NH}_3$  sebagai *working fluid* juga dapat menghindari terjadinya proses kristalisasi yang dapat menghambat kinerja alat (Wu, 2013) dan penggunaan  $\text{NH}_3$  sebagai refrigeran lebih menguntungkan karena dapat teruapkan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan air (Abdulateef, 2008).

Selain itu, dari grafik di atas juga dapat disimpulkan bahwa untuk keempat variabel *working fluid*, semakin besar komposisi refrigeran dalam *working fluid*, maka semakin besar pula nilai *coefficient of performance* (COP) dari sistem pendingin tersebut. Hal ini dikarenakan untuk mencapai kapasitas pendingin sebesar 5000 btu/jam, *working fluid* dengan komposisi refrigeran yang kecil akan membutuhkan lebih banyak massa *working fluid*, sehingga beban pompa dan *solar thermal collector* akan semakin besar.

#### IV.5 Analisa Ekonomi

Setelah melakukan penelitian terkait variabel-variabel *working fluid* baru untuk sistem *solar air conditioning* dan membandingkannya dengan *working fluid* yang sudah umum digunakan pada penelitian-penelitian terdahulu, selanjutnya dilakukan analisa ekonomi untuk melihat *economic feasibility* dari *solar air conditioning*.

Analisa ekonomi merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan dalam menentukan apakah *solar air conditioning* layak untuk digunakan atau tidak. Pada analisa ekonomi dalam penelitian ini akan dihitung biaya kapital untuk penginstalan *solar air conditioning* dan akan dibandingkan dengan biaya untuk sistem pendingin ruangan biasa dengan mengambil studi kasus di kota Surabaya, Indonesia. Selain itu akan dihitung pula besar efisiensi energi listrik yang dapat dicapai dari sistem *solar air conditioning*.

Sebelumnya diketahui bahwa berdasarkan hasil simulasi untuk sistem *solar air conditioning* yang telah dilakukan didapatkan bahwa kombinasi *working fluid*  $\text{LiNO}_3/\text{NH}_3$  dengan perbandingan komposisi masing-masing zat 45%:55% memiliki *Coefficient of Performance* (COP) yang paling tinggi sehingga pada analisa ekonomi ini, sistem *solar air conditioning* yang dianalisa adalah sistem dengan *working fluid*  $\text{LiNO}_3/\text{NH}_3$  dengan perbandingan komposisi masing-masing zat 45%:55%.

Selanjutnya menghitung biaya kapital untuk *solar air conditioning* dengan mencari harga untuk setiap komponen alat yang dibutuhkan untuk menginstal sebuah *solar air conditioning*. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan kapasitas alat yang dibutuhkan untuk menginstal sebuah *solar air conditioning*. Sistem *solar air conditioning* (*absorption chiller*) terdiri dari *sollar thermal collector*, tiga unit *heat exchanger*, dua unit *vessel* dan satu unit pompa. Kapasitas untuk setiap peralatan tersebut ditampilkan pada tabel berikut:



**Tabel IV.5** Kapasitas Peralatan *Solar Air Conditioning*

<i>Working Fluid</i>	Ratio	Kapasitas Alat						
		Pompa	HE-1	Solar coll.	Desorber	Condenser	HE AC	Absorber
		Daya (kW)	Luas (m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Duty (kW)	Duty (kW)	Volume (m <sup>3</sup> )
LiNO <sub>3</sub> /NH <sub>3</sub>	45/55	0,0045	0,01	3,357	0,011	1,612	1,465	0,0030

Setelah mengetahui kapasitas alat yang dibutuhkan, kemudian dicari harga untuk setiap peralatan tersebut. Harga untuk *solar thermal collector* diasumsikan sebesar \$200/m<sup>2</sup>. (Pablo,2011)

Harga peralatan-peralatan lain yang dibutuhkan diambil dari *website* teknik kimia yaitu [www.mhhe.com](http://www.mhhe.com) dan [www.matche.com](http://www.matche.com). Website ini memberikan perkiraan harga peralatan-peralatan kimia. Harga peralatan setiap saat akan berubah tergantung pada perubahan ekonomi. Apabila harga alat dengan kapasitas tertentu diketahui, maka harga alat dengan kapasitas lain dapat ditaksir dengan menggunakan *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI). Begitu pula apabila harga alat pada tahun tertentu diketahui, maka harga alat pada tahun lain dapat ditaksir.

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{\text{Kapasitas alat B}}{\text{Kapasitas alat A}} \right)^{0,6} \times \text{Harga alat kapasitas A}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

(Timmerhaus,1991)

Harga alat didapatkan dalam mata uang US dollar, sehingga apabila diubah kedalam mata uang rupiah, harga tersebut dikalikan dengan kurs mata uang saat ini dimana 1USD = Rp. 13.330. ([www.x-rates.com](http://www.x-rates.com))

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan biaya kapital rata-rata untuk *solar air conditioning* dengan kapasitas pendinginan 1,465 kW adalah sebagai berikut:

**Tabel IV.6** Hasil Perhitungan Biaya Kapital *Solar Air Conditioning*

<b>Jenis Alat</b>	<b>Harga (\$)</b>	<b>Harga (Rp.)</b>
<i>Solar Thermal Collector</i>	456	6.081.406
Pompa	46	608.095
<i>Heat Exchanger 1</i>	165	2.193.476
<i>Desorber (Storage Tank)</i>	245	3.270.810
<i>Condensor (Fan Coil)</i>	119	1.590.387
<i>Evaporator (Fan Coil)</i>	202	2.698.297
Absorber ( <i>absorption chiller</i> )	326	4.347.985
Aksesoris (pipa, insulasi, dll)	117	1.564.888
<b>CAPITAL COST</b>	<b>\$1.677</b>	<b>Rp. 22.355.346</b>

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa total investasi yang harus dikeluarkan untuk menginstal satu buah *solar air conditioning* sebesar Rp. 22.355.346. Jika dibandingkan dengan harga pendingin ruangan biasa dengan kapasitas pendinginan yang sama (Panasonic Single Split Air Conditioner CS/CU-PN5SKJ) yang dijual dipasaran dijual dengan harga sekitar Rp. 2.950.000. Dapat dilihat bahwa investasi awal yang harus dikeluarkan untuk menginstal satu buah *solar air conditioning* sangat jauh lebih besar dibandingkan dengan membeli pendingin ruangan biasa yang dijual di pasaran.

Setelah menghitung biaya investasi awal (biaya kapital) yang harus dikeluarkan untuk penginstalan sebuah *solar air conditioning* dan pendingin ruangan komersial, dihitung pula biaya tagihan listrik yang harus dikeluarkan untuk setiap jenis pendingin ruangan, baik pendingin ruangan biasa atau *solar air conditioning*. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa besar *solar air conditioning* mampu melakukan penghematan konsumsi energi listrik. Diasumsikan pendingin ruangan digunakan setiap hari selama 10 jam perhari dan biaya listrik dihitung untuk konsumsi selama satu tahun (30 hari). Sementara itu, tarif dasar listrik yang digunakan dalam perhitungan biaya diambil dari tarif Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk rumah tangga golongan

R-1/900 VA-RTM yaitu sebesar Rp. 1.352/kWh. Untuk menghitung biaya listrik, digunakan rumus:

Biaya Listrik = Pemakaian (kWh) x Tarif Dasar Listrik  
dimana besar pemakaian energi listrik untuk setiap sistem pendingin ruangan didapatkan dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Hasil simulasi untuk sistem pendingin ruangan komersial ditampilkan pada tabel berikut:

**Tabel IV.7** Hasil Simulasi untuk Pendingin Ruangan Komersial

<i>Working fluid</i>	<b>Qc (kW)</b>	<b>Energi Listrik (kW)</b>	<b>COP</b>
R-22	1,465	0,4	3,663

Berdasarkan tabel IV.7 didapatkan bahwa pendingin ruangan komersial memiliki daya 0,4 kilowatt atau setara dengan 400 watt. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan biaya listrik sistem pendingin ruangan komersial untuk kapasitas pendinginan sebesar 1,465 kW yaitu Rp. 5.408,-/perhari atau setara dengan Rp.1.973.920,-/pertahun.

Sementara itu, dengan cara yang sama dihitung pula biaya listrik untuk *solar air conditioning*. Hasil simulasi untuk sistem *solar air conditioning* ditampilkan pada tabel berikut:

**Tabel IV.8** Hasil Simulasi untuk *Solar Air Conditioning*

<i>Working fluid</i>	<b>Ratio</b>	<b>Qc (kW)</b>	<b>Energi Listrik (kW)</b>	<b>COP</b>
NH <sub>3</sub> /LiNO <sub>3</sub>	55/45	1,465	0,004	0,824

Berdasarkan tabel IV.8 didapatkan bahwa *solar air conditioning* memiliki daya 0,0046 kilowatt atau setara dengan 4,6 watt. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan biaya listrik *solar air conditioning* untuk kapasitas pendinginan sebesar 1,465 kW yaitu Rp. 62,-/perhari atau setara dengan Rp.22.700,-/pertahun.

Berdasarkan perhitungan biaya listrik per bulan yang harus dikeluarkan untuk masing-masing jenis pendingin ruangan, didapatkan bahwa dengan menggunakan *solar air conditioning*

mampu menghemat biaya listrik sebesar 98,85% dibandingkan dengan menggunakan pendingin ruangan komersial. Ini menunjukkan bahwa *solar air conditioning* mampu melakukan efisiensi penggunaan energi listrik yang dapat berdampak pada penghematan biaya tagihan listrik sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) yang dapat berdampak buruk terhadap lingkungan.

Untuk membandingkan antara kedua sistem pendingin, dilakukan analisa *annual worth* (AW) sebagai dasar pertimbangan. Metode *Annual Worth* (AW) atau disebut juga *annual equivalent* yaitu metode dimana aliran kas masuk dan kas keluar didistribusikan dalam sederetan nilai uang tahunan secara merata (sama besar), setiap periode waktu sepanjang umur investasi, pada suatu tingkat pengembalian minimum yang diinginkan (MARR) (nptel, 2013). Berikut adalah persamaan perhitungan *annual worth* :

$$CR = I(A/P, i, n) - S(A/F, i, n)$$

$$CR = (I-S) (A/F, i, n) + I(i)$$

$$CR = (I-S) (A/P, i, n) + S(i)$$

$$AW = Revenue - Expenses - CR$$

Dimana :  
 I : Investasi awal  
 S : Nilai sisa di akhir usia pakai  
 n : Usia pakai  
 CR : *Capital recovery*

Persamaan-persamaan di atas dapat dihitung menggunakan formula yang tertera pada program Ms. Excel.

Untuk melakukan analisa *annual worth*, diperlukan data mengenai *life time* dari masing-masing sistem. Untuk sistem *solar air conditioning (absorption-refrigeration)* mampu bertahan hingga 30 tahun, sedangkan AC komersial mampu bertahan hingga 10 tahun (Pita, 1998). Oleh karena itu, ditetapkan *life time* untuk analisa ini sebesar 30 tahun. Berikut adalah data-data yang digunakan untuk analisa *annual worth* :

**Tabel IV.9** Data - Data Analisa *Annual Worth*

<b>Tipe</b>	<b><i>Capital Cost</i> (Rp)</b>	<b><i>Operating Cost</i> (Rp)</b>	<b><i>Life Time</i> (tahun)</b>
<i>Solar Air Conditioning</i>	22.355.346	22.700	30
AC komersial	2.950.000	1.973.920	10

Dengan menetapkan nilai MARR sebesar 6,5% (suku bunga deposit Bank Indonesia), maka didapatkan :

*Annual worth solar air conditioning* = -Rp. 1.734.615,-

*Annual worth commercial air conditioning* = -Rp. 2.384.278,-

Tanda negatif pada nilai *annual worth* menunjukkan nilai pengeluaran yang harus dikeluarkan tiap tahunnya. Pada analisa *annual worth* dipilih sistem dengan nilai *annual worth* terbesar. Dari kedua sistem *annual worth solar air conditioning* lebih tinggi dibandingkan sistem sistem AC komersial, yg artinya sistem *solar air conditioning* lebih menguntungkan secara ekonomi.

Berdasarkan analisa ekonomi yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa sistem *solar air conditioning* lebih menguntungkan secara ekonomi dibandingkan dengan pendingin ruangan komersial.



# **BAB V**

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari segi aspek ekonomi dan kebutuhan energi listrik, didapatkan *solar absorption* memiliki *annual worth* yang lebih tinggi dibandingkan AC komersial dengan selisih Rp. 649.663,- serta mampu menghemat 98,85% konsumsi energi listrik sehingga *solar air conditioning* lebih efektif dibandingkan AC komersial.
2. Dari keempat *working fluid* yang digunakan untuk sistem *solar air conditioning* didapatkan *working fluid* LiNO<sub>3</sub>-amoniak dengan ratio komposisi 45% absorban dan 55% refrigeran memiliki nilai COP paling tinggi sebesar 0,824.
3. *Working fluid* LiNO<sub>3</sub>-amoniak dapat digunakan sebagai alternatif pengganti *working fluid* LiBr-H<sub>2</sub>O karena memiliki nilai *Coefficient of Performance* (COP) yang lebih tinggi.
4. Dari keempat *working fluid* yang diuji: LiBr/H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub>, LiNO<sub>3</sub>/NH<sub>3</sub> dan NMP/R32, didapatkan bahwa semakin tinggi komposisi *refrigerant* dalam *working fluid*, maka semakin tinggi pula nilai *Coefficient of Performance* (COP) untuk sistem *solar air conditioning*.

#### **V.2 Saran**

Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai sistem pengendalian proses pendingin pada *solar air conditioning*, sehingga sistem dapat dikendalikan ketika diberi gangguan. Selain itu, perlu dikembangkannya sistem pendingin hibrid yang mengintegrasikan sistem *solar air conditioning* dan sistem pendingin komersial sehingga pendingin udara dapat beroperasi pada kondisi sinar matahari yang redup.





# **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abulateef, J.M, Sopian, K., Alghoul, M.A., Sulaiman, M.Y, Zaharim, A dan Ahmad, I. 2008. *Solar Absorption Refrigeration System Using New Working Fluid Pairs*. Proceedings of the Energy and Environment Conference UK, Februari 23-25
- AGCC *American Gas Cooling Center*. 1999. *Aplication Engineering Manual for Desiccant Systems*. Washington, DC: American Gas Cooling Center
- Al-Ugla, A.A., El-Shaarawi, M.A.I. dan Said, S.A.M. 2014. *Alternative Design for a 24 hours Operating Solar Powered Li-Br Water Absorption Air Conditioning Technology*. International Journal of Refrigeration 53, 90-100
- Allgood, C.C dan Lawson, C. 2010. *Performance of R-438A in R-22 Refrigeration and Air Conditioning Systems*. Proceedings of the International Refrigeration and Air Conditioning Conference Purdue, Juli 12-15
- Anonim. 2002. *Purchased Cost of Double-Pipe Heat Exchangers*. <http://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/ce.html>
- Anonim. 2014. *Heat Exchanger Cost Estimate*. <http://www.matche.com/equipcost/Exchanger.html>
- Anonim. 2015. *Surabaya, Indonesia Latitude Longitude*. <http://Latitudelongitude.org/id/surbaya>
- Anonim. 2016. *Surabaya Current weather*. <http://m.accuweather.com/id/id/surabaya>
- Anonim. 2017. *Tarif Dasar Listrik PLN Juli 2017*. <http://listrik.org/pln/tarif-dasar-listrik-pln/>
- BMKG. 2017. *Buku Prakiraan Musim Kemarau 2017*. Jakarta : Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG)
- Bermejo, P., Pino, F.J. dan Rosa, F. 2010. *Solar Absorption Coolin Plant in Seville*. Solar Energy 84, 1503-1512

- Best, R dan Holland, FA. 1990. *A Study of The Operating Charactheristics of An Experimental Absorption Solar Cooler Using Ternary Systems*. International Journal Energy Resource 14, 553-561
- Djelloul, A., Draoui, B. dan Moumami, N. *Simulation of A Solar Driven Air Conditioning System for A House In Dry and Hot Climate of Algeria*. Courrier du Savoir 15, 31-39
- Gaswami, Y. 2015. *Principles of Solar Engineering* (3rd ed). Philadelphia : Taylor & Francisbooks Inc
- Henninger, R., Glazer, J dan Witte, M. 1998. *Absorption Chillers*. Southern California: New Buildings Institute
- Ibanez, J.G. 2013. *Design of a Mechanical Subcooling System Device for Increasing a Low Temperature Refrigeration System's Capacity*. Prospect 11, 13-20
- Li, Z.F dan Sumathy, K. 2001. *Experimental Studies on A Solar Powered Air Conditioning System With Partitioned Hot Water Storage Tank*. Solar Energy 71, 285-297
- Marccriss, R.A, Gutraj, J.M. dan Zawacki, T.S. 1998. *Absorption Fluid Data Survey : Final Report on World Wide Data*. ORLN/Sub/8447989/3. Inst. Gas. Tech
- Pablo J.V.B., Javier A G.C., Ivan C.R.S. 2011. *Design and Economic Analysis of a Solar Air Conditioning System: Case of Study in Monterrey, Mexico*. Article Solar Congress 2011 Kassel.
- Panasonic. 2015. *Room Air Conditioner Refrigerant HFC32 (R32)*. Jakarta : PT Panasonic Manufacturing Indonesia
- Peters, M.S, dan Timmerhaus, K.D. 1991 *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: Mc Graw Hill
- Pita, E. 2002. *Air Conditioning Principles and Systems* 4<sup>rd</sup> ed. Saddle River, N.J: Prentice Hall inc
- Rona, N. 2004. *Solar Air-Conditioning Systems Focus on Components and Their Working Principles*. Gateborg : Chalmers Reprosefrvice

- Rosario, A. 2014. *Calculating the Solar Energy of a Flat Plate Collector*. Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two. Vol 6. Iss 1, Article 1
- Wang, S. K. 2001. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. New York: Mc Graw Hill
- Wu, W., Wang, B., Shi, W. Dan Li, X. 2013. *Crystallization Analysis and Control of Ammonia-Based Air Source Absorption Heat Pump in Cold Regions*. Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering Research Article.
- Smith, R. 2005. *Chemical Process Design and Integration*. New York: John Wiley & Sons, Ltd
- Somers, C., Hwang, Y., Radermacher, R., Rodgers, P. Dan Al-Hashimi, S. 2011. *Modelling Water/Lithium Bromide Absorption Chillers in Aspen Plus*. Applied Energy 88, 4197-4205
- Srikhirin, P., Aphornratana, S. dan Chungpaibulpatana, S. 2001. *A Review of Absorption Refrigeration Technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 5, 343-372
- Struckmann, F. 2008. *Analysis of a Flat-plate Solar Collector*. Project Report MVK 160 Heat and Mass Transport Swedia
- Syed, A. 2005. *A Novel Experimental Investigation of A Solar Cooling System in Madrid*. International Journal of Refrigeration 28, 859-871
- Yokozeiki, A. 2005. *Theoretical Performance of Various Refrigerant-Absorbent Pairs in A Vapor Absorption Refrigeration Cycle by The Use of Equations of State*. Applied Energy 80, 383-399
- Zambrano, D. 2005. *Model Development and Validation of a Solar Coolin Plant*. International Journal of Refrigeration 28, 859-871



# DAFTAR NOTASI

## DAFTAR NOTASI

NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
E	Energi yang terkumpul dalam <i>solar collector</i>	W
$I_c$	Energi radiasi matahari	W/m <sup>2</sup>
$A_c$	Luas permukaan <i>solar collector</i>	m <sup>2</sup>
$\eta_c$	Efisiensi <i>solar collector</i>	-
$\delta$	Latitude lokasi	°N
w	Panjang dinding ruang	ft
H	Tinggi dinding ruang	ft
I	Faktor isolasi ruang	-
L	Lebar ruang	ft
E	Faktor arah dinding terpanjang ruang	-
Qc	Kapasitas Pendingin	kW
W	Total Energi yang dibutuhkan sistem pendingin	kW



# APPENDIKS

## APPENDIKS A

### PERHITUNGAN *SOLAR ENERGY* PADA *FLAT PLATE COLLECTOR*

Untuk menghitung besarnya *solar energy* yang dapat diserap oleh *solar thermal collector*, dibutuhkan beberapa data seperti latitude lokasi, lama waktu penyinaran dan lain-lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ariane Rosario (2014), total energi yang diterima oleh solar collector per-harinya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = 2 \int_0^{\tau} S \cos(\theta_z) dt$$

Dimana setiap parameternya dapat diselesaikan berdasarkan persamaan-persamaan berikut :

$$S = I E_0$$

$$E_0 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right)$$

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varphi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\varphi) \sin(\delta)$$

$$\omega = 0.2618 t$$

$$\delta = \frac{\pi}{7.6759} \sin\left(\frac{2\pi(n+284)}{365}\right)$$

Dari persamaan-persamaan diatas didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$E =$$

$$2 \int_0^{\tau} [I E_0 (\cos(\varphi) \cos(0.2618 t) \cos(\delta) + \sin(\varphi) \sin(\delta))] dt$$

$$E = 2 I E_0 \left[ (\cos(\varphi) \cos(\delta) \int_0^{\tau} \cos(0.2618 t) dt) + (\sin(\varphi) \sin(\delta) \int_0^{\tau} dt) \right]$$

$$E =$$

$$2 I E_0 \left[ \left( \cos(\varphi) \cos(\delta) \left[ \frac{\sin(0.2618 t)}{0.2618} \right]_0^{\tau} \right) + (\sin(\varphi) \sin(\delta) [t]_0^{\tau}) \right]$$

$$E = 2 I E_0 \left[ \left( \cos(\varphi) \cos(\delta) \left[ \frac{\sin(0.2618 \tau)}{0.2618} \right] \right) + (\sin(\varphi) \sin(\delta) \tau) \right]$$

Nilai  $\tau$  dapat diperoleh dari persamaan A-4, dimana pada saat  $t = \tau$ , nilai  $\cos(\theta_z) = 0$ , maka didapatkan persamaan berikut :

$$\cos(\varphi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\varphi) \sin(\delta) = 0$$



$$\cos(\varphi) \cos(\omega) \cos(\delta) = -\sin(\varphi) \sin(\delta)$$

$$\cos(\omega) = \frac{-\sin(\varphi) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta)}$$

$$\omega = \cos^{-1} \left( \frac{-\sin(\varphi) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta)} \right)$$

$$0.2618 \tau = \cos^{-1} \left( \frac{-\sin(\varphi) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta)} \right)$$

$$\tau = \frac{1}{0.2618} \cos^{-1} \left( \frac{-\sin(\varphi) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta)} \right)$$

**Catatan :** Semua parameter dihitung dalam radian

Berikut adalah data koordinat *latitude* (garis lintang) dan *longitude* (garis bujur) kota Surabaya yang diperoleh dari

Latitudelongitude.org :

Latitude ( $\varphi$ ) = -7.24917°N = -0.12646 rad

Longitude = 112.75083°E

I = 1000 W/m<sup>2</sup>

n = hari ke-1 sampai 365 dimulai dari 1 Januari

Berdasarkan data tersebut dilakukan perhitungan menggunakan Ms. Excel dan didapatkan hasil sebagai berikut :

n	Tanggal	E <sub>o</sub>	δ	τ	E
1	01-Jan	1,032995	-0,40162	6,206333	7827,198
2	02-Jan	1,03298	-0,40022	6,205531	7829,268
3	03-Jan	1,032956	-0,39871	6,204663	7831,433
4	04-Jan	1,032922	-0,39707	6,203728	7833,687
5	05-Jan	1,032878	-0,39532	6,202728	7836,024
6	06-Jan	1,032824	-0,39346	6,201662	7838,441
7	07-Jan	1,032761	-0,39147	6,200532	7840,93
8	08-Jan	1,032688	-0,38937	6,199338	7843,485
9	09-Jan	1,032605	-0,38716	6,19808	7846,1
10	10-Jan	1,032513	-0,38483	6,19676	7848,769
11	11-Jan	1,032411	-0,38238	6,195378	7851,484
12	12-Jan	1,032299	-0,37983	6,193935	7854,237

13	13-Jan	1,032178	-0,37716	6,192432	7857,022
14	14-Jan	1,032047	-0,37437	6,190869	7859,83
15	15-Jan	1,031907	-0,37148	6,189248	7862,653
16	16-Jan	1,031757	-0,36848	6,187568	7865,482
17	17-Jan	1,031598	-0,36537	6,185832	7868,31
18	18-Jan	1,03143	-0,36215	6,18404	7871,127
19	19-Jan	1,031252	-0,35882	6,182193	7873,924
20	20-Jan	1,031065	-0,35539	6,180292	7876,692
21	21-Jan	1,030869	-0,35185	6,178338	7879,422
22	22-Jan	1,030664	-0,34821	6,176331	7882,103
23	23-Jan	1,03045	-0,34447	6,174274	7884,727
24	24-Jan	1,030226	-0,34062	6,172166	7887,283
25	25-Jan	1,029994	-0,33667	6,170008	7889,762
26	26-Jan	1,029753	-0,33262	6,167803	7892,152
27	27-Jan	1,029503	-0,32848	6,16555	7894,445
28	28-Jan	1,029244	-0,32423	6,163251	7896,63
29	29-Jan	1,028977	-0,3199	6,160908	7898,696
30	30-Jan	1,028701	-0,31546	6,158519	7900,633
31	31-Jan	1,028416	-0,31093	6,156088	7902,431
32	01-Feb	1,028123	-0,30631	6,153615	7904,079
33	02-Feb	1,027822	-0,3016	6,1511	7905,567
34	03-Feb	1,027513	-0,29681	6,148546	7906,884
35	04-Feb	1,027195	-0,29192	6,145953	7908,021
36	05-Feb	1,02687	-0,28694	6,143321	7908,966
37	06-Feb	1,026536	-0,28189	6,140653	7909,709
38	07-Feb	1,026195	-0,27674	6,137949	7910,241
39	08-Feb	1,025845	-0,27152	6,135209	7910,551
40	09-Feb	1,025488	-0,26622	6,132436	7910,63
41	10-Feb	1,025124	-0,26083	6,12963	7910,467

42	11-Feb	1,024752	-0,25537	6,126792	7910,052
43	12-Feb	1,024373	-0,24984	6,123923	7909,377
44	13-Feb	1,023987	-0,24423	6,121024	7908,431
45	14-Feb	1,023593	-0,23854	6,118096	7907,206
46	15-Feb	1,023193	-0,23279	6,11514	7905,693
47	16-Feb	1,022786	-0,22697	6,112157	7903,882
48	17-Feb	1,022371	-0,22108	6,109147	7901,767
49	18-Feb	1,021951	-0,21513	6,106112	7899,337
50	19-Feb	1,021524	-0,20911	6,103053	7896,586
51	20-Feb	1,02109	-0,20303	6,09997	7893,505
52	21-Feb	1,02065	-0,19689	6,096865	7890,087
53	22-Feb	1,020204	-0,19069	6,093738	7886,326
54	23-Feb	1,019752	-0,18444	6,090591	7882,214
55	24-Feb	1,019295	-0,17813	6,087423	7877,744
56	25-Feb	1,018831	-0,17176	6,084236	7872,912
57	26-Feb	1,018362	-0,16535	6,081031	7867,711
58	27-Feb	1,017888	-0,15889	6,077808	7862,135
59	28-Feb	1,017408	-0,15238	6,074569	7856,18
60	01-Mar	1,016923	-0,14583	6,071314	7849,841
61	02-Mar	1,016433	-0,13923	6,068043	7843,114
62	03-Mar	1,015938	-0,13259	6,064759	7835,996
63	04-Mar	1,015439	-0,12591	6,061461	7828,482
64	05-Mar	1,014935	-0,1192	6,05815	7820,57
65	06-Mar	1,014426	-0,11245	6,054827	7812,257
66	07-Mar	1,013914	-0,10567	6,051493	7803,542
67	08-Mar	1,013397	-0,09885	6,048148	7794,422
68	09-Mar	1,012876	-0,09201	6,044794	7784,897
69	10-Mar	1,012351	-0,08514	6,041431	7774,965
70	11-Mar	1,011823	-0,07824	6,038059	7764,627

71	12-Mar	1,011291	-0,07132	6,03468	7753,883
72	13-Mar	1,010756	-0,06438	6,031293	7742,733
73	14-Mar	1,010218	-0,05742	6,027901	7731,178
74	15-Mar	1,009676	-0,05044	6,024503	7719,221
75	16-Mar	1,009132	-0,04345	6,0211	7706,862
76	17-Mar	1,008585	-0,03645	6,017693	7694,105
77	18-Mar	1,008036	-0,02943	6,014282	7680,953
78	19-Mar	1,007484	-0,02241	6,010869	7667,409
79	20-Mar	1,00693	-0,01538	6,007453	7653,477
80	21-Mar	1,006374	-0,00834	6,004037	7639,161
81	22-Mar	1,005816	-0,0013	6,000619	7624,467
82	23-Mar	1,005256	0,005735	5,997201	7609,4
83	24-Mar	1,004694	0,012771	5,993784	7593,964
84	25-Mar	1,004132	0,019804	5,990367	7578,168
85	26-Mar	1,003568	0,026831	5,986953	7562,017
86	27-Mar	1,003003	0,03385	5,983541	7545,518
87	28-Mar	1,002437	0,040858	5,980133	7528,679
88	29-Mar	1,001871	0,047855	5,976728	7511,508
89	30-Mar	1,001303	0,054838	5,973329	7494,013
90	31-Mar	1,000736	0,061804	5,969934	7476,203
91	01-Apr	1,000168	0,068752	5,966545	7458,087
92	02-Apr	0,9996	0,07568	5,963163	7439,675
93	03-Apr	0,999033	0,082585	5,959789	7420,977
94	04-Apr	0,998465	0,089466	5,956422	7402,002
95	05-Apr	0,997899	0,09632	5,953064	7382,762
96	06-Apr	0,997332	0,103146	5,949716	7363,267
97	07-Apr	0,996767	0,109941	5,946378	7343,529
98	08-Apr	0,996202	0,116704	5,943051	7323,56
99	09-Apr	0,995639	0,123432	5,939736	7303,371

100	10-Apr	0,995077	0,130124	5,936433	7282,974
101	11-Apr	0,994516	0,136777	5,933143	7262,383
102	12-Apr	0,993957	0,143389	5,929868	7241,609
103	13-Apr	0,9934	0,14996	5,926607	7220,667
104	14-Apr	0,992844	0,156485	5,923361	7199,568
105	15-Apr	0,992291	0,162965	5,920132	7178,327
106	16-Apr	0,99174	0,169396	5,916921	7156,957
107	17-Apr	0,991192	0,175777	5,913727	7135,473
108	18-Apr	0,990646	0,182106	5,910552	7113,887
109	19-Apr	0,990103	0,188381	5,907397	7092,215
110	20-Apr	0,989563	0,194601	5,904262	7070,471
111	21-Apr	0,989026	0,200763	5,901149	7048,67
112	22-Apr	0,988492	0,206865	5,898058	7026,825
113	23-Apr	0,987961	0,212906	5,89499	7004,952
114	24-Apr	0,987435	0,218884	5,891946	6983,065
115	25-Apr	0,986911	0,224797	5,888927	6961,18
116	26-Apr	0,986392	0,230644	5,885934	6939,312
117	27-Apr	0,985877	0,236423	5,882967	6917,474
118	28-Apr	0,985366	0,242131	5,880029	6895,683
119	29-Apr	0,984859	0,247768	5,877119	6873,954
120	30-Apr	0,984357	0,253331	5,874239	6852,301
121	01-Mei	0,983859	0,25882	5,871389	6830,739
122	02-Mei	0,983367	0,264232	5,868571	6809,284
123	03-Mei	0,982879	0,269565	5,865785	6787,95
124	04-Mei	0,982396	0,274819	5,863033	6766,753
125	05-Mei	0,981918	0,279992	5,860316	6745,706
126	06-Mei	0,981446	0,285081	5,857634	6724,826
127	07-Mei	0,980979	0,290087	5,854989	6704,126
128	08-Mei	0,980518	0,295006	5,852382	6683,62

129	09-Mei	0,980063	0,299838	5,849813	6663,324
130	10-Mei	0,979613	0,304581	5,847283	6643,252
131	11-Mei	0,97917	0,309234	5,844795	6623,417
132	12-Mei	0,978733	0,313796	5,842348	6603,834
133	13-Mei	0,978302	0,318264	5,839944	6584,516
134	14-Mei	0,977877	0,322639	5,837583	6565,476
135	15-Mei	0,977459	0,326918	5,835267	6546,729
136	16-Mei	0,977048	0,3311	5,832998	6528,287
137	17-Mei	0,976643	0,335184	5,830775	6510,164
138	18-Mei	0,976246	0,339169	5,828599	6492,371
139	19-Mei	0,975855	0,343054	5,826473	6474,922
140	20-Mei	0,975472	0,346837	5,824397	6457,828
141	21-Mei	0,975095	0,350517	5,822371	6441,102
142	22-Mei	0,974727	0,354094	5,820397	6424,754
143	23-Mei	0,974365	0,357565	5,818476	6408,798
144	24-Mei	0,974011	0,360931	5,816609	6393,242
145	25-Mei	0,973665	0,36419	5,814797	6378,099
146	26-Mei	0,973327	0,367341	5,81304	6363,379
147	27-Mei	0,972997	0,370384	5,811339	6349,092
148	28-Mei	0,972674	0,373317	5,809696	6335,248
149	29-Mei	0,97236	0,376139	5,808112	6321,856
150	30-Mei	0,972054	0,37885	5,806586	6308,926
151	31-Mei	0,971756	0,381449	5,805121	6296,466
152	01-Jun	0,971467	0,383935	5,803716	6284,485
153	02-Jun	0,971186	0,386307	5,802373	6272,991
154	03-Jun	0,970913	0,388565	5,801092	6261,992
155	04-Jun	0,970649	0,390708	5,799875	6251,496
156	05-Jun	0,970394	0,392735	5,798721	6241,509
157	06-Jun	0,970148	0,394646	5,797631	6232,038

158	07-Jun	0,96991	0,39644	5,796606	6223,089
159	08-Jun	0,969682	0,398117	5,795647	6214,669
160	09-Jun	0,969462	0,399676	5,794754	6206,783
161	10-Jun	0,969251	0,401117	5,793928	6199,436
162	11-Jun	0,96905	0,402439	5,793169	6192,633
163	12-Jun	0,968857	0,403641	5,792478	6186,379
164	13-Jun	0,968674	0,404725	5,791855	6180,677
165	14-Jun	0,9685	0,405688	5,7913	6175,531
166	15-Jun	0,968336	0,406532	5,790814	6170,944
167	16-Jun	0,96818	0,407255	5,790397	6166,92
168	17-Jun	0,968035	0,407857	5,790049	6163,46
169	18-Jun	0,967898	0,408339	5,789771	6160,566
170	19-Jun	0,967772	0,4087	5,789563	6158,241
171	20-Jun	0,967654	0,40894	5,789424	6156,486
172	21-Jun	0,967547	0,409059	5,789356	6155,3
173	22-Jun	0,967448	0,409056	5,789357	6154,686
174	23-Jun	0,96736	0,408933	5,789428	6154,642
175	24-Jun	0,967281	0,408689	5,789569	6155,168
176	25-Jun	0,967212	0,408323	5,78978	6156,264
177	26-Jun	0,967153	0,407837	5,790061	6157,929
178	27-Jun	0,967103	0,40723	5,790411	6160,16
179	28-Jun	0,967063	0,406502	5,790831	6162,956
180	29-Jun	0,967033	0,405655	5,791319	6166,315
181	30-Jun	0,967012	0,404687	5,791877	6170,233
182	01-Jul	0,967002	0,403599	5,792502	6174,708
183	02-Jul	0,967001	0,402392	5,793196	6179,736
184	03-Jul	0,96701	0,401065	5,793958	6185,313
185	04-Jul	0,967028	0,39962	5,794786	6191,434
186	05-Jul	0,967057	0,398057	5,795682	6198,095

187	06-Jul	0,967095	0,396376	5,796643	6205,292
188	07-Jul	0,967143	0,394577	5,79767	6213,017
189	08-Jul	0,9672	0,392662	5,798762	6221,266
190	09-Jul	0,967268	0,39063	5,799919	6230,033
191	10-Jul	0,967345	0,388483	5,801139	6239,31
192	11-Jul	0,967431	0,386221	5,802422	6249,091
193	12-Jul	0,967528	0,383845	5,803767	6259,369
194	13-Jul	0,967634	0,381354	5,805174	6270,135
195	14-Jul	0,967749	0,378751	5,806642	6281,383
196	15-Jul	0,967874	0,376036	5,80817	6293,102
197	16-Jul	0,968009	0,37321	5,809757	6305,286
198	17-Jul	0,968153	0,370273	5,811402	6317,925
199	18-Jul	0,968306	0,367226	5,813104	6331,009
200	19-Jul	0,968469	0,364071	5,814863	6344,529
201	20-Jul	0,968641	0,360808	5,816678	6358,476
202	21-Jul	0,968823	0,357438	5,818547	6372,838
203	22-Jul	0,969013	0,353962	5,82047	6387,605
204	23-Jul	0,969213	0,350382	5,822445	6402,767
205	24-Jul	0,969422	0,346698	5,824473	6418,312
206	25-Jul	0,96964	0,342911	5,826551	6434,23
207	26-Jul	0,969867	0,339023	5,828679	6450,508
208	27-Jul	0,970103	0,335034	5,830856	6467,134
209	28-Jul	0,970348	0,330946	5,833081	6484,097
210	29-Jul	0,970602	0,326761	5,835353	6501,384
211	30-Jul	0,970864	0,322478	5,83767	6518,983
212	31-Jul	0,971135	0,3181	5,840032	6536,88
213	01-Agust	0,971414	0,313628	5,842438	6555,064
214	02-Agust	0,971702	0,309063	5,844886	6573,52
215	03-Agust	0,971998	0,304406	5,847377	6592,236



216	04-Agust	0,972303	0,29966	5,849907	6611,197
217	05-Agust	0,972616	0,294825	5,852478	6630,391
218	06-Agust	0,972937	0,289902	5,855087	6649,803
219	07-Agust	0,973265	0,284894	5,857733	6669,42
220	08-Agust	0,973602	0,279801	5,860416	6689,228
221	09-Agust	0,973947	0,274625	5,863135	6709,212
222	10-Agust	0,974299	0,269369	5,865888	6729,358
223	11-Agust	0,974659	0,264032	5,868675	6749,652
224	12-Agust	0,975027	0,258617	5,871494	6770,079
225	13-Agust	0,975401	0,253126	5,874345	6790,626
226	14-Agust	0,975783	0,24756	5,877226	6811,277
227	15-Agust	0,976173	0,24192	5,880137	6832,018
228	16-Agust	0,976569	0,236209	5,883077	6852,835
229	17-Agust	0,976972	0,230428	5,886044	6873,713
230	18-Agust	0,977382	0,224579	5,889038	6894,637
231	19-Agust	0,977799	0,218663	5,892058	6915,593
232	20-Agust	0,978223	0,212683	5,895103	6936,567
233	21-Agust	0,978652	0,206639	5,898172	6957,544
234	22-Agust	0,979088	0,200535	5,901264	6978,511
235	23-Agust	0,979531	0,194371	5,904378	6999,452
236	24-Agust	0,979979	0,188149	5,907514	7020,353
237	25-Agust	0,980433	0,181872	5,91067	7041,202
238	26-Agust	0,980893	0,175541	5,913845	7061,983
239	27-Agust	0,981359	0,169158	5,91704	7082,684
240	28-Agust	0,98183	0,162725	5,920252	7103,29
241	29-Agust	0,982307	0,156244	5,923482	7123,788
242	30-Agust	0,982789	0,149716	5,926728	7144,165
243	31-Agust	0,983276	0,143144	5,929989	7164,409
244	01-Sep	0,983768	0,13653	5,933265	7184,505

245	02-Sep	0,984265	0,129876	5,936555	7204,443
246	03-Sep	0,984766	0,123183	5,939859	7224,209
247	04-Sep	0,985272	0,116453	5,943174	7243,791
248	05-Sep	0,985782	0,109689	5,946502	7263,178
249	06-Sep	0,986297	0,102893	5,94984	7282,358
250	07-Sep	0,986815	0,096066	5,953189	7301,321
251	08-Sep	0,987337	0,08921	5,956547	7320,054
252	09-Sep	0,987864	0,082329	5,959914	7338,548
253	10-Sep	0,988393	0,075423	5,963289	7356,791
254	11-Sep	0,988927	0,068494	5,966671	7374,776
255	12-Sep	0,989463	0,061545	5,97006	7392,491
256	13-Sep	0,990003	0,054578	5,973455	7409,927
257	14-Sep	0,990545	0,047595	5,976855	7427,077
258	15-Sep	0,991091	0,040598	5,98026	7443,93
259	16-Sep	0,991639	0,033589	5,983668	7460,48
260	17-Sep	0,992189	0,02657	5,98708	7476,718
261	18-Sep	0,992742	0,019543	5,990494	7492,638
262	19-Sep	0,993297	0,01251	5,99391	7508,232
263	20-Sep	0,993854	0,005474	5,997328	7523,494
264	21-Sep	0,994412	-0,00156	6,000746	7538,418
265	22-Sep	0,994973	-0,0086	6,004164	7552,998
266	23-Sep	0,995535	-0,01564	6,00758	7567,229
267	24-Sep	0,996098	-0,02267	6,010996	7581,107
268	25-Sep	0,996662	-0,02969	6,014409	7594,627
269	26-Sep	0,997227	-0,03671	6,01782	7607,785
270	27-Sep	0,997794	-0,04371	6,021227	7620,578
271	28-Sep	0,99836	-0,0507	6,024629	7633,003
272	29-Sep	0,998928	-0,05768	6,028027	7645,057
273	30-Sep	0,999495	-0,06464	6,031419	7656,739

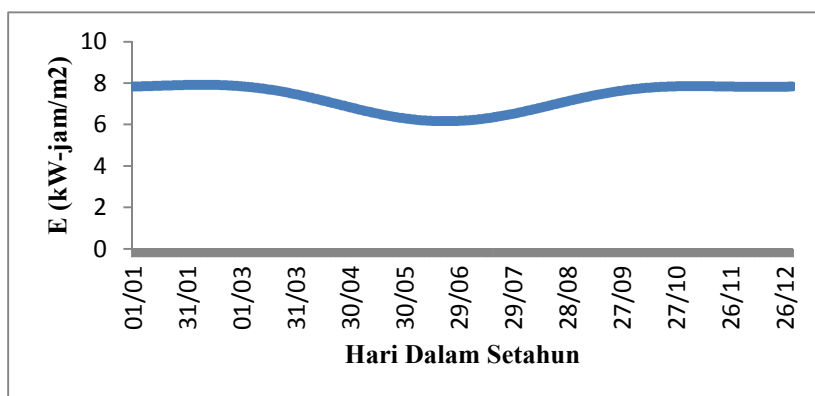
274	01-Okt	1,000063	-0,07158	6,034805	7668,046
275	02-Okt	1,000631	-0,0785	6,038185	7678,979
276	03-Okt	1,001198	-0,08539	6,041556	7689,534
277	04-Okt	1,001766	-0,09226	6,044919	7699,714
278	05-Okt	1,002332	-0,0991	6,048273	7709,517
279	06-Okt	1,002898	-0,10592	6,051617	7718,945
280	07-Okt	1,003463	-0,1127	6,054951	7727,998
281	08-Okt	1,004028	-0,11945	6,058273	7736,678
282	09-Okt	1,00459	-0,12616	6,061583	7744,987
283	10-Okt	1,005152	-0,13284	6,064881	7752,927
284	11-Okt	1,005712	-0,13948	6,068165	7760,501
285	12-Okt	1,00627	-0,14607	6,071435	7767,712
286	13-Okt	1,006827	-0,15262	6,074689	7774,563
287	14-Okt	1,007381	-0,15913	6,077928	7781,059
288	15-Okt	1,007934	-0,16559	6,08115	7787,204
289	16-Okt	1,008483	-0,172	6,084355	7793,002
290	17-Okt	1,009031	-0,17836	6,087541	7798,459
291	18-Okt	1,009576	-0,18467	6,090708	7803,58
292	19-Okt	1,010118	-0,19092	6,093855	7808,371
293	20-Okt	1,010656	-0,19712	6,096981	7812,837
294	21-Okt	1,011192	-0,20326	6,100085	7816,985
295	22-Okt	1,011725	-0,20933	6,103167	7820,823
296	23-Okt	1,012254	-0,21535	6,106226	7824,356
297	24-Okt	1,012779	-0,2213	6,109259	7827,592
298	25-Okt	1,013301	-0,22719	6,112268	7830,54
299	26-Okt	1,013818	-0,23301	6,11525	7833,206
300	27-Okt	1,014332	-0,23876	6,118205	7835,598
301	28-Okt	1,014841	-0,24444	6,121132	7837,726
302	29-Okt	1,015346	-0,25004	6,12403	7839,597

303	30-Okt	1,015846	-0,25558	6,126898	7841,22
304	31-Okt	1,016342	-0,26103	6,129735	7842,604
305	01-Nop	1,016833	-0,26641	6,13254	7843,758
306	02-Nop	1,017319	-0,27172	6,135312	7844,692
307	03-Nop	1,017799	-0,27694	6,13805	7845,415
308	04-Nop	1,018275	-0,28208	6,140753	7845,936
309	05-Nop	1,018745	-0,28713	6,14342	7846,264
310	06-Nop	1,019209	-0,2921	6,14605	7846,411
311	07-Nop	1,019668	-0,29699	6,148642	7846,384
312	08-Nop	1,020121	-0,30178	6,151195	7846,195
313	09-Nop	1,020568	-0,30649	6,153708	7845,853
314	10-Nop	1,021009	-0,3111	6,156179	7845,368
315	11-Nop	1,021444	-0,31563	6,158609	7844,75
316	12-Nop	1,021872	-0,32006	6,160995	7844,009
317	13-Nop	1,022294	-0,32439	6,163338	7843,154
318	14-Nop	1,022709	-0,32863	6,165635	7842,197
319	15-Nop	1,023118	-0,33278	6,167886	7841,146
320	16-Nop	1,02352	-0,33682	6,170089	7840,011
321	17-Nop	1,023914	-0,34076	6,172245	7838,803
322	18-Nop	1,024302	-0,34461	6,174351	7837,53
323	19-Nop	1,024683	-0,34835	6,176407	7836,203
324	20-Nop	1,025056	-0,35199	6,178411	7834,83
325	21-Nop	1,025422	-0,35552	6,180364	7833,421
326	22-Nop	1,02578	-0,35895	6,182263	7831,985
327	23-Nop	1,02613	-0,36227	6,184108	7830,532
328	24-Nop	1,026473	-0,36549	6,185898	7829,069
329	25-Nop	1,026808	-0,36859	6,187632	7827,606
330	26-Nop	1,027135	-0,37159	6,189309	7826,15
331	27-Nop	1,027455	-0,37448	6,190928	7824,711

332	28-Nop	1,027766	-0,37726	6,192489	7823,295
333	29-Nop	1,028068	-0,37992	6,19399	7821,911
334	30-Nop	1,028363	-0,38248	6,195431	7820,567
335	01-Des	1,028649	-0,38492	6,19681	7819,269
336	02-Des	1,028926	-0,38724	6,198128	7818,024
337	03-Des	1,029195	-0,38945	6,199383	7816,84
338	04-Des	1,029456	-0,39155	6,200575	7815,722
339	05-Des	1,029707	-0,39353	6,201703	7814,676
340	06-Des	1,02995	-0,39539	6,202766	7813,709
341	07-Des	1,030184	-0,39714	6,203764	7812,826
342	08-Des	1,030409	-0,39877	6,204697	7812,032
343	09-Des	1,030625	-0,40028	6,205562	7811,331
344	10-Des	1,030832	-0,40167	6,206361	7810,729
345	11-Des	1,03103	-0,40294	6,207092	7810,23
346	12-Des	1,031218	-0,4041	6,207756	7809,836
347	13-Des	1,031398	-0,40513	6,208352	7809,552
348	14-Des	1,031568	-0,40605	6,208878	7809,381
349	15-Des	1,031729	-0,40684	6,209336	7809,325
350	16-Des	1,03188	-0,40751	6,209725	7809,387
351	17-Des	1,032022	-0,40807	6,210044	7809,569
352	18-Des	1,032154	-0,4085	6,210294	7809,872
353	19-Des	1,032277	-0,40881	6,210474	7810,297
354	20-Des	1,032391	-0,409	6,210584	7810,846
355	21-Des	1,032495	-0,40907	6,210624	7811,518
356	22-Des	1,032589	-0,40902	6,210594	7812,315
357	23-Des	1,032673	-0,40885	6,210495	7813,234
358	24-Des	1,032748	-0,40855	6,210325	7814,277
359	25-Des	1,032813	-0,40814	6,210086	7815,441
360	26-Des	1,032869	-0,4076	6,209777	7816,725

361	27-Des	1,032914	-0,40695	6,209398	7818,128
362	28-Des	1,03295	-0,40617	6,20895	7819,647
363	29-Des	1,032977	-0,40527	6,208434	7821,279
364	30-Des	1,032993	-0,40426	6,207849	7823,022
365	31-Des	1,033	-0,40312	6,207195	7824,872

Berikut adalah grafik fluktuatif paparan energi yang diterima oleh *solar collector* setiap hari dalam setahun.



**Gambar A.1** Grafik Paparan Energi yang Diterima *solar collector* dalam setahun

Pada penelitian ini ditetapkan tipe *solar thermal collector* yang digunakan adalah *flat plate collector*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Struckmann (2008), *solar flat plate collector* mempunyai efisiensi sebesar 80%. Dari hasil perhitungan didapatkan besaran energi yang diterima *solar thermal collector* sebesar :

$$E_{\max} = 6,329 \text{ kW-hr/m}^2$$

$$E_{\min} = 4,923 \text{ kW-hr/m}^2$$

$$E_{\text{Rata-rata}} = 5,284 \text{ kW-hr/m}^2$$

Dengan waktu operasi dari pukul 07.00 hingga 17.00 atau selama 10 jam per-harinya.

Dengan waktu operasi selama 10 jam (07.00 hingga 17.00) maka rata-rata energi yang dihasilkan oleh *solar thermal collector* sebesar 528,4 W/m<sup>2</sup>.

## APPENDIKS B

### KAPASITAS PENDINGINAN RUANG

Untuk menghitung kapasitas pendinginan *air conditioning* yang dibutuhkan sebuah ruangan digunakan rumus berikut:

$$\text{Kapasitas pendinginan (Btu/jam)} = \frac{(W \times H \times I \times L \times E)}{60}$$

Dimana:

W = Panjang ruang (dalam feet)

H = Tinggi ruang (dalam feet)

I = Nilai 10 jika ruang berinsulasi atau nilai 18 jika ruang tidak berinsulasi

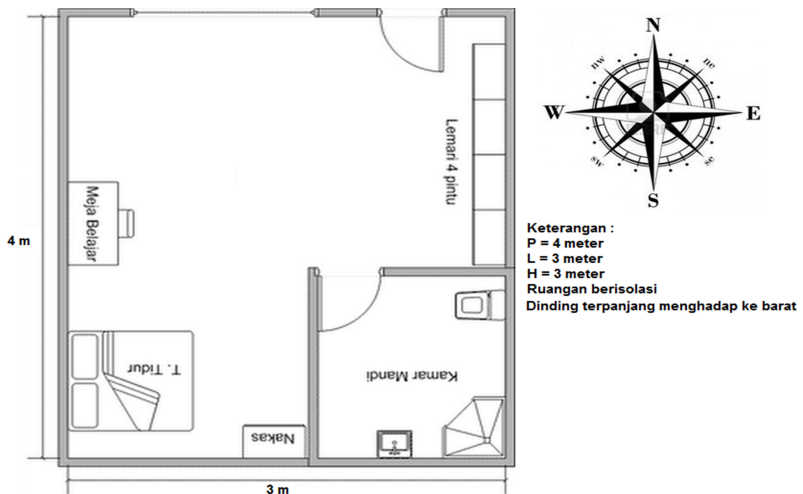
L = Lebar ruang (dalam feet)

E = Nilai 16 jika dinding terpanjang menghadap utara

Nilai 17 jika dinding terpanjang menghadap timur

Nilai 18 jika dinding terpanjang menghadap selatan

Nilai 20 jika dinding terpanjang menghadap barat



**Gambar B.1** Rincian Ukuran Ruangan yang Ditetapkan



Dengan menetapkan ukuran ruangan yang akan didinginkan pada penelitian ini sebesar 4m x 3m x 3m, dengan dinding berisolasi dan dinding terpanjang menghadap ke barat, maka didapatkan kapasitas pendinginan yang dibutuhkan ruangan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas pendinginan (Btu/jam)} &= \frac{(W \times H \times I \times L \times E)}{60} \\
 \text{Kapasitas pendinginan} &= \frac{(9,84 \times 9,84 \times 10 \times 13,12 \times 20)}{60} \\
 \text{Kapasitas pendinginan} &= 4237,77 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \\
 &\approx 5000 \text{ Btu/jam}
 \end{aligned}$$

dimana 1 meter = 3,28 feet

## APPENDIKS C

### TEMPERATUR RATA-RATA KOTA SURABAYA

Berdasarkan data yang diperoleh dari website [accuweather.com](http://accuweather.com), berikut adalah data suhu udara kota surabaya saat siang hari pada tahun 2016.

Tanggal	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
<b>1</b>	33	34	34	31	34	34	33	33	35	34	35	33
<b>2</b>	32	33	33	34	34	33	33	34	34	33	34	31
<b>3</b>	34	33	34	34	34	34	34	33	34	33	35	32
<b>4</b>	33	34	34	35	35	35	36	34	34	33	35	31
<b>5</b>	33	32	33	35	35	35	33	33	34	34	35	32
<b>6</b>	35	34	33	34	33	34	33	33	34	35	35	31
<b>7</b>	35	32	34	34	35	35	33	33	34	34	33	31
<b>8</b>	36	33	35	35	34	35	34	33	34	31	34	33
<b>9</b>	35	33	35	32	34	34	34	33	35	32	32	32

<b>10</b>	35	30	35	33	35	35	33	33	34	31	33	31
<b>11</b>	33	30	35	34	34	34	34	34	35	33	33	33
<b>12</b>	35	31	34	33	33	34	34	34	34	33	31	29
<b>13</b>	35	33	35	32	34	34	34	30	34	32	33	30
<b>14</b>	36	34	34	34	35	32	34	34	34	33	33	33
<b>15</b>	36	30	36	34	35	32	33	32	34	34	31	33
<b>16</b>	36	33	36	34	35	34	30	33	34	35	34	32
<b>17</b>	34	34	34	33	34	34	32	35	34	35	32	32
<b>18</b>	35	35	34	32	35	34	31	33	35	35	35	32
<b>19</b>	35	35	35	33	34	29	33	32	34	35	35	33
<b>20</b>	34	34	34	34	33	33	32	33	33	35	35	33
<b>21</b>	32	32	34	34	36	33	32	33	35	31	35	34
<b>22</b>	34	33	35	32	34	34	32	33	33	33	31	34
<b>23</b>	32	34	34	34	35	33	33	33	34	32	34	34
<b>24</b>	30	34	35	34	34	33	33	33	31	32	34	35
<b>25</b>	33	35	35	34	37	33	33	33	33	34	32	34
<b>26</b>	31	34	36	33	34	34	33	33	34	33	34	35

<b>27</b>	34	32	36	34	33	33	32	34	33	33	34	33
<b>28</b>	34	34	34	35	34	32	34	34	34	33	34	33
<b>29</b>	35	33	33	35	33	31	33	33	32	34	34	34
<b>30</b>	34		33	34	33	31	34	34	34	35	33	30
<b>31</b>	33		34		34		33	34		34		33
<b>Rata-rata</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>32</b>

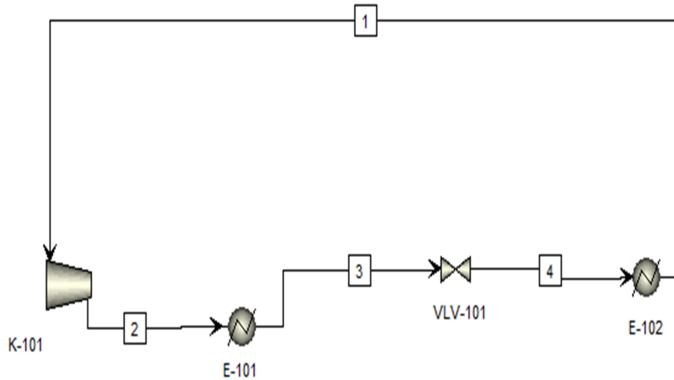
**Ket :** Data suhu udara yang ditampilkan dalam °C

Berdasarkan data tersebut dilakukan perhitungan suhu udara rata-rata kota surabaya, dan didapatkan suhu rata-rata kota surabaya sebesar **33,5°C**

## APPENDIKS D

### HASIL SIMULASI DAN PERHITUNGAN COP *COMMERCIAL AIR CONDITIONING (VAPOR COMPRESSION AIR CONDITIONING SYSTEM)*

#### D.1 Simulasi *Commercial Air Conditioning*



**Gambar D.1** Simulasi *Commercial Air Conditioning (Vapor Compression Air Conditioning System)*

**Tabel D.1** Keterangan Alat pada Simulasi *Commercial Air Conditioning*

Kode Alat	Keterangan	Fungsi
K-101	Kompresor	Meningkatkan tekanan/Mensirkulasi <i>working fluid</i>
E-101	Kondensor/ <i>Air cooler</i>	Mengkondensasi uap <i>working fluid</i> menjadi liquid
VLV-101	Valve	Menurunkan tekanan <i>working fluid</i>
E-102	AC	Area pertukaran panas antara udara yang akan didinginkan dengan refrigeran/ <i>working fluid</i>

Dengan menetapkan variabel berupa kapasitas pendinginan sebesar 5000 btu/jam didapatkan hasil simulasi sebagai berikut :

**Tabel D.2** Kondisi Operasi pada Simulasi *Commercial Air Conditioning (Vapor Compression Air Conditioning System)*

	Satuan	Aliran			
		1	2	3	4
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	1	0	0,325
<b>Temperatur</b>	°C	6,7	69,5	42	6,1
<b>Tekanan</b>	bar	6	15,988	15,988	6
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,393	0,393	0,393	0,393
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	34	34	34	34

## D.2 Perhitungan COP dari *Commercial Air Conditioning*

Nilai COP (*Coefficient of Performance*) sistem pendingin dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$COP = \frac{\text{Kapasitas Pendinginan}}{\text{Energi yang dibutuhkan*}}$$

\* Dalam hal ini energi yang dibutuhkan berupa daya listrik yang dibutuhkan untuk sistem pendingin tersebut.

### ❖ Langkah 1 : Menetapkan kapasitas pendinginan

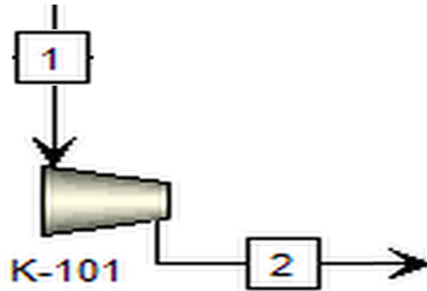
Pada sistem ini kapasitas pendinginan ditetapkan sebagai variabel tetap.

Kapasitas pendingin = 5000 btu/jam

**Kapasitas pendingin = 1,465 kW**

❖ **Langkah 2 : Menghitung energi yang dibutuhkan sistem pendingin**

- Daya kompresor



**Gambar D.2** Skema Unit Kompresi

► Compressor model	Isentropic Compressor	
► Phase calculations	Vapor phase calculation	
► Indicated horsepower	400	Watt
► Brake horsepower	400	Watt
► Net work required	400	Watt
► Power loss	0	Watt
► Efficiency	0,75	
► Mechanical efficiency	1	
► Outlet pressure	2,12647e+06	N/sqm

**Gambar D.3** Kebutuhan Energi Unit Kompresi

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan software Aspen Plus V8.8, untuk mendapatkan kapasitas pendingin sebesar 5000 btu/jam dibutuhkan daya kompresi sebesar :

**Daya kompresor** = 400 Watt = 0,4 Kw

❖ **Langkah 3 : Menghitung COP sistem pendingin**

$$\text{COP} = \frac{\text{Kapasitas Pendinginan}}{\text{Energi yang dibutuhkan}}$$

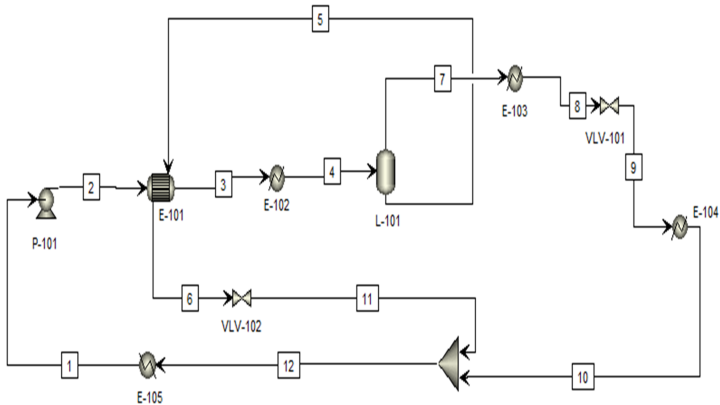
Berdasarkan persamaan diatas didapatkan nilai COP sebesar :

$$\text{COP} = \frac{1,465 \text{ kW}}{0,4 \text{ kW}} = 3,663$$

Nilai COP sistem *commercial air conditioning* sebesar 3,663



**APPENDIKS E**  
**HASIL SIMULASI *SOLAR AIR CONDITIONING***  
**(*ABSORPTION-REFRIGERATION AIR CONDITIONING***  
***SYSTEM*)**



**Gambar E.1** Simulasi *Solar Air Conditioning (Absorption-Refrigeration Air Conditioning System)*

**Tabel E.1** Keterangan Alat pada Simulasi *Solar Air Conditioning*

Kode Alat	Keterangan	Fungsi
P-101	Pompa	Meningkatkan tekanan/Mensirkulasi <i>working fluid</i>
E-101	<i>Integration Heat Exchanger</i>	Memanfaatkan panas yang dikandung <i>liquid absorbant</i> untuk memanaskan <i>feed campuran absorbant</i> dan <i>refrigerant</i>
E-102	<i>Solar Thermal Collector</i>	Menguapkan <i>refrigerant</i> dengan memanfaatkan panas matahari

L-101	Generator	Memisahkan uap <i>refrigerant</i> dengan <i>liquid</i> absorban
E-104	Kondensor/ <i>Air cooler</i>	Mengkondensasi uap <i>refrigerant</i> menjadi liquid
VLV-101	Valve	Menurunkan tekanan <i>refrigerant</i>
E-105	AC	Area pertukaran panas antara udara yang akan didinginkan dengan <i>refrigeran/working fluid</i>
VLV-102	Valve	Menurunkan tekanan <i>absorbant</i>
E-106	Absorber	Menyerap uap <i>refrigerant</i> menjadi <i>liquid</i> kembali

Dengan menetapkan variabel berupa kapasitas pendinginan sebesar 5000 btu/jam didapatkan hasil simulasi sebagai berikut :

## E.1 Lithium Bromida - Air

**Tabel E.2** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (LiBr-H<sub>2</sub>O/ 55%:45%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,77	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	12,82	12,82	22,99	70	70	17,83
<b>Tekanan</b>	bar	0,012	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,18	0,18	0,18	0,18	0,04	0,04
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	6	6	6	6	3,48	3,48
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0	1	0	0,68
<b>Temperatur</b>	°C	70	39,93	9,94	19,94	17,82	22,26
<b>Tekanan</b>	bar	0,074	0,074	0,012	0,012	0,012	0,012
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,14	0,14	0,14	0,14	0,04	0,18
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	2,52	2,52	2,52	2,52	3,48	6

**Tabel E.3** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (LiBr-H<sub>2</sub>O/ 50%:50%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,81	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	12,33	12,33	20,92	70	70	17,33
<b>Tekanan</b>	bar	0,012	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,17	0,17	0,17	0,18	0,03	0,03
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	5,3	5,3	5,3	5,3	2,79	2,79
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0	1	0	0,72
<b>Temperatur</b>	°C	70	39,93	9,94	19,94	17,33	21,37
<b>Tekanan</b>	bar	0,074	0,074	0,012	0,012	0,012	0,012
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,14	0,14	0,14	0,14	0,03	0,17
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	2,51	2,51	2,51	2,51	2,79	5,3

**Tabel E.4** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (LiBr-H<sub>2</sub>O/ 45%:55%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,84	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	11,92	11,92	19,14	70	70	16,92
<b>Tekanan</b>	bar	0,012	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,16	0,16	0,16	0,16	0,03	0,03
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	4,75	4,75	4,75	4,75	2,25	2,25
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0	1	0	0,75
<b>Temperatur</b>	°C	70	39,93	9,94	19,94	16,92	20,43
<b>Tekanan</b>	bar	0,074	0,074	0,012	0,012	0,012	0,012
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,16	0,16	0,16	0,16	0,03	0,16
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	4,75

## E.2 Air - NH<sub>3</sub>

**Tabel E.5** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>/ 55%:45%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,15	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	33,5	33,5	56,43	70	70	38,5
<b>Tekanan</b>	bar	3,81	7,21	7,21	7,21	7,21	7,21
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	1,68	1,68	1,68	1,68	1,43	1,43
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	29,46	29,46	29,46	29,46	25,23	25,23
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,06	1	0	0,12
<b>Temperatur</b>	°C	70	36,78	2,2	28,47	38,62	44,23
<b>Tekanan</b>	bar	7,21	7,21	3,81	3,81	3,81	3,81
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,25	0,25	0,25	0,25	1,43	1,68
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	4,23	4,23	4,23	4,23	25,23	29,46

**Tabel E.6** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>/ 50%:50%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,23	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	33,5	33,5	50,2	70	70	38,54
<b>Tekanan</b>	bar	3,81	7,21	7,21	7,21	7,21	7,21
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	1,09	1,09	1,09	1,09	0,84	0,84
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	19,01	19,01	19,01	19,01	14,74	14,74
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,05	1	0	0,19
<b>Temperatur</b>	°C	70	36,13	2,2	28,5	38,5	48,6
<b>Tekanan</b>	bar	7,21	7,21	3,81	3,81	3,81	3,81
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,84	1,09
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	4,27	4,27	4,27	4,27	14,74	19,01

**Tabel E.7** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>/ 45%:55%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,31	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	33,5	33,53	44,46	70	70	38,53
<b>Tekanan</b>	bar	3,81	7,21	7,21	7,21	7,21	7,21
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,81	0,81	0,81	0,81	0,56	0,56
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	14,1	14,1	14,1	14,1	9,8	9,8
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,03	1	0	0,25
<b>Temperatur</b>	°C	70	36,1	2,2	28,52	38,5	52,5
<b>Tekanan</b>	bar	7,21	7,21	3,81	3,81	3,81	3,81
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,56	0,81
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	4,3	4,3	4,3	4,3	9,8	14,1



### E.3 $\text{LiNO}_3 - \text{NH}_3$

**Tabel E.8** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* ( $\text{LiNO}_3\text{-NH}_3$ / 55%:45%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,58	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	18,45	18,95	36,2	70	70	23,95
<b>Tekanan</b>	bar	6,13	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,51	0,51	0,51	0,51	0,21	0,21
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	14,7	14,7	14,7	14,7	9,68	9,68
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,3	1	0	0,58
<b>Temperatur</b>	°C	70	33,5	0	9,9	23,95	33,54
<b>Tekanan</b>	bar	12,89	12,89	6,13	6,13	6,13	6,13
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,29	0,29	0,29	0,29	0,21	0,51
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	5,02	5,02	5,02	5,02	9,68	14,7

**Tabel E.9** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (LiNO<sub>3</sub>-NH<sub>3</sub>/50%:50%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,64	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	17,03	17,49	32,5	70	70	22,49
<b>Tekanan</b>	bar	6,13	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,46	0,46	0,46	0,46	0,16	0,16
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	12,5	12,5	12,5	12,5	7,49	7,49
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,88	1	0	0,58
<b>Temperatur</b>	°C	70	33,5	0	9,9	22,49	32,84
<b>Tekanan</b>	bar	12,89	12,89	6,13	6,13	6,13	6,13
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,29	0,29	0,29	0,29	0,16	0,46
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	5,01	5,01	5,01	5,02	7,49	12,5

**Tabel E.10** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (LiNO<sub>3</sub>-NH<sub>3</sub>/ 45%:55%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,7	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	15,83	16,25	29,25	70	70	21,25
<b>Tekanan</b>	bar	6,13	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,42	0,42	0,42	0,42	0,13	0,13
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	10,7	10,7	10,7	10,7	5,77	5,77
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,88	1	0	0,58
<b>Temperatur</b>	°C	70	33,5	0	9,9	21,25	32,95
<b>Tekanan</b>	bar	12,89	12,89	6,13	6,13	6,13	6,13
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,29	0,29	0,29	0,29	0,13	0,42
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	4,93	4,93	4,93	4,93	5,77	10,7

#### E.4 NMP – R32

**Tabel E.11** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (NMP-R32/ 55%:45%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,34	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	23,95	24,9	51,4	70	70	29,79
<b>Tekanan</b>	bar	11,06	21,28	21,28	21,28	21,28	21,28
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	1,05	1,05	1,05	1,05	0,69	0,69
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	74	74	74	74	55,32	55,32
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,16	1	0	0,58
<b>Temperatur</b>	°C	70	33,53	-5,4	27,4	29,82	35,9
<b>Tekanan</b>	bar	21,28	21,28	11,06	11,06	11,06	11,06
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,36	0,36	0,36	0,36	0,69	1,05
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	18,68	18,68	18,68	18,68	55,32	74

**Tabel E.12** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (NMP-R32/ 50%:50%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,42	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	21,65	22	48,2	70	70	27
<b>Tekanan</b>	bar	11,6	21,28	21,28	21,28	21,28	21,28
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,86	0,86	0,86	0,86	0,5	0,5
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	59	59	59	59	40,1	40,1
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,16	1	0	0,58
<b>Temperatur</b>	°C	70	33,53	-5,39	27,4	27,5	34,99
<b>Tekanan</b>	bar	21,28	21,28	11,06	11,06	11,06	11,06
<b>Molar Flow</b>	Kgmol/jam	0,36	0,36	0,36	0,36	0,5	0,86
<b>Mass Flow</b>	Kg/jam	18,9	18,9	18,9	18,9	40,1	59

**Tabel E.13** Kondisi Operasi pada Simulasi *Solar Air Conditioning* (NMP-R32/ 45%:55%)

	Satuan	Aliran					
		1	2	3	4	5	6
<b>Fraksi Uap</b>	-	0	0	0	0,42	0	0
<b>Temperatur</b>	°C	19,74	20,11	45,61	70	70	25,11
<b>Tekanan</b>	bar	11,6	21,28	21,28	21,28	21,28	21,28
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,73	0,73	0,73	0,73	0,37	0,37
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	48	48	48	48	29,35	29,35
	Satuan	Aliran					
		7	8	9	10	11	12
<b>Fraksi Uap</b>	-	1	0	0,16	1	0	0,60
<b>Temperatur</b>	°C	70	33,53	-5,37	27,4	25,65	34,74
<b>Tekanan</b>	bar	21,28	21,28	11,06	11,06	11,06	11,06
<b><i>Molar Flow</i></b>	<b>Kgmol/jam</b>	0,36	0,36	0,36	0,36	0,5	0,86
<b><i>Mass Flow</i></b>	<b>Kg/jam</b>	18,65	18,65	18,65	18,65	40,1	59

## APPENDIKS F

### PERHITUNGAN COP *SOLAR AIR CONDITIONING*

Nilai COP (*Coefficient of Performance*) sistem pendingin dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{COP} = \frac{\text{Kapasitas Pendinginan}}{\text{Energi yang dibutuhkan}}$$

❖ **Langkah 1 : Menetapkan kapasitas pendinginan**

Pada sistem ini kapasitas pendinginan ditetapkan sebagai variabel tetap.

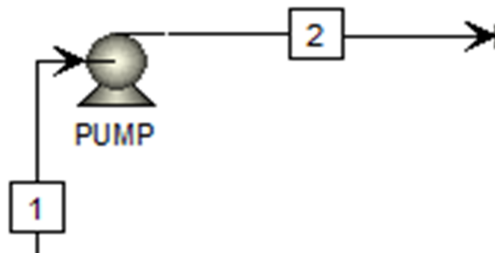
Kapasitas pendingin = 5000 btu/jam

**Kapasitas pendingin = 1,465 kW**

❖ **Langkah 2 : Menghitung energi yang dibutuhkan sistem pendingin**

Pada sistem ini dibutuhkan daya dari 2 alat, yaitu :

- Daya Pompa



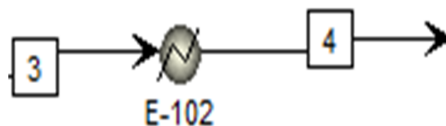
**Gambar F.1** Skema Unit Pompa

Fluid power	0,0034384797	kW
Brake power	0,00458464	kW
Electricity	0,00458464	kW
Volumetric flow rate	0,0183277	cum/hr
Pressure change	6,754	bar
NPSH available	0	meter
NPSH required		
Head developed	117,968	meter
Pump efficiency used	0,75	
Net work required	0,00458464	kW
Outlet pressure	12,887	bar

**Gambar F.2** Kebutuhan Energi Pompa

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan software Aspen Plus V8.8, untuk mendapatkan kapasitas pendingin sebesar 5000 btu/jam dibutuhkan daya pompa sebesar :  
**Daya pompa = 0,0046 kW**

- *Solar Thermal Collector*



**Gambar F.1** Skema Unit *Solar Thermal Collector*



Outlet temperature	70	C
Outlet pressure	12,887	bar
Vapor fraction	0,697377	
Heat duty	1,77378	kW
Net duty	1,77378	kW
1st liquid / Total liquid	1	
Pressure-drop correlation parameter	0	

**Gambar F.2** Kebutuhan Energi Pompa

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan software Aspen Plus V8.8, untuk mendapatkan kapasitas pendingin sebesar 5000 btu/jam dibutuhkan energi *solar thermal collector* sebesar :

**Energi *solar thermal collector*** = 1,774 kW

Total energi yang dibutuhkan = daya pompa + energi *solar thermal collector*

Total energi yang dibutuhkan = 0,0046 kW + 1,774 kW

**Total energi yang dibutuhkan** = 1,7786 kW

### ❖ Langkah 3 : Menghitung COP sistem pendingin

$$\text{COP} = \frac{\text{Kapasitas Pendinginan}}{\text{Energi yang dibutuhkan}}$$

Berdasarkan persamaan diatas didapatkan nilai COP sebesar :

$$\text{COP} = \frac{1,465 \text{ kW}}{1,7786 \text{ kW}} = 0,824$$

Nilai COP sistem *commercial air conditioning* sebesar 0,824

Hasil perhitungan COP untuk berbagai variabel jenis *working fluid* dan komposisinya disajikan dalam bentuk tabel berikut :

**Tabel F.1** Hasil Perhitungan COP *Solar Air Conditioning*

<i>Working fluid</i>	Ratio	kapasitas pendingin (kW)	Energi yang dibutuhkan (kW)			COP
			Pompa	<i>Solar Thermal Collector</i>	Total	
H <sub>2</sub> O/LiBr	45/55	1,465	1,54E-05	1,810	1,810	0,809
	50/50	1,465	1,35E-05	1,800	1,800	0,814
	55/45	1,465	1,20E-05	1,794	1,794	0,817
NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	45/55	1,465	0,005	1,958	1,963	0,746
	50/50	1,465	0,002	1,885	1,887	0,776
	55/45	1,465	0,001	1,849	1,851	0,792
NH <sub>3</sub> /LiNO <sub>3</sub>	45/55	1,465	0,006	1,790	1,796	0,815
	50/50	1,465	0,005	1,781	1,786	0,820
	55/45	1,465	0,004	1,774	1,778	0,824
R32/NMP	45/55	1,465	0,026	1,945	1,971	0,743
	50/50	1,465	0,020	1,948	1,968	0,744
	55/45	1,465	0,016	1,909	1,925	0,761

## APPENDIKS G

### MENGHITUNG BIAYA LISTRIK *SOLAR AIR* CONDITIONING DAN PENDINGIN RUANGAN KOMERSIAL

Berikut adalah asumsi-asumsi dalam perhitungan biaya tagihan listrik untuk *solar air conditioning* dan pendingin ruangan komersial:

- Pendingin ruangan dipakai setiap hari selama 10 jam/hari
- Perhitungan biaya listrik dilakukan untuk pemakaian alat selama 1 bulan (30 hari)
- Tarif dasar listrik diambil dari tarif PLN (Perusahaan Listrik Negara) untuk tarif dasar listrik rumah tangga golongan R-1/900 VA-RTM sebesar Rp. 1.352/kWh

Menghitung Biaya Listrik Pendingin Ruangan Komersial

**Tabel G.1.** Hasil Simulasi untuk Pendingin Ruangan Komersial

<i>Working fluid</i>	<b>Qc (kW)</b>	<b>Energi Listrik (kW)</b>	<b>COP</b>
R-22	1,465	0,4	3,663

Berdasarkan tabel G.1. didapatkan besar daya pendingin ruangan komersial sebesar 400 Watt. Biaya listrik dihitung menggunakan rumus berikut:

Biaya Listrik = Pemakaian (kWh) x Tarif Dasar Listrik

Biaya per hari:

$$\begin{aligned}
 &= \left( \frac{400 \text{ watt}}{1000} \times 10 \text{ jam} \right) \times \text{Rp. 1.352} \\
 &= (0,4 \text{ kWh} \times 10 \text{ jam}) \times \text{Rp. 1.352} \\
 &= 4 \text{ kWh} \times \text{Rp. 1.352} \\
 &= \text{Rp. 5.408, -/hari}
 \end{aligned}$$

Biaya per tahun:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp. 5.408} \times 365 \text{ hari} \\
 &= \text{Rp. 1.973.920, -/tahun}
 \end{aligned}$$

### Menghitung Biaya Listrik *Solar Air Conditioning*

**Tabel G.2.** Hasil Simulasi untuk *Solar Air Conditioning*

<i>Working fluid</i>	Ratio	Qc (kW)	Energi Listrik (kW)	COP
NH <sub>3</sub> /LiNO <sub>3</sub>	55/45	1,465	0,004	0,824

Berdasarkan tabel G.2. didapatkan besar daya *solar air conditioning* sebesar 0,0046 kW  $\approx$  4,6 Watt. Biaya listrik dihitung menggunakan rumus berikut:

Biaya Listrik = Pemakaian (kWh) x Tarif Dasar Listrik

Biaya per hari:

$$\begin{aligned}
 &= \left( \frac{4,6 \text{ watt}}{1000} \times 10 \text{ jam} \right) \times \text{Rp. } 1.352 \\
 &= (0,0046 \text{ kWh} \times 10 \text{ jam}) \times \text{Rp. } 1.352 \\
 &= 0,046 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.352 \\
 &= \text{Rp. } 62, -
 \end{aligned}$$

Biaya per tahun:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp. } 62, - \times 365 \text{ hari} \\
 &= \text{Rp. } 22.700, - / \text{tahun}
 \end{aligned}$$

Besar penghematan biaya listrik (konsumsi energi listrik):

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1.973.920 - 48.996}{1.973.920} \times 100\% \\
 &= 98,85\%
 \end{aligned}$$

## APPENDIKS H

### PERHITUNGAN BIAYA KAPITAL

Menghitung Biaya Kapital *Solar Air Conditioning*

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan kapasitas alat yang dibutuhkan untuk *solar air conditioning* sebagai berikut:

- Kapasitas pendinginan *solar air conditioning* adalah 1,456 kW
- \$1 = Rp. 13.330
- Indeks harga CEPCI untuk setiap tahun ditampilkan sebagai berikut:

**Tabel H.2.** *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)*

<b>Tahun</b>	<b><i>Annual Index</i></b>
2001	394,3
2002	395,6
2003	402
2004	444,2
2005	468,2
2006	499,6
2007	525,4
2008	575,4
2009	521,9
2010	550,8
2011	585,7
2012	584,6
2013	567,3
2014	580,1
2015	573,1
2016	631
2017	646

([www.chemengonline.com](http://www.chemengonline.com))

**Tabel H.1.** Kapasitas Peralatan *Solar Air Conditioning*

<i>Working Fluid</i>	Komposisi	Kapasitas Alat						
		Pompa	HE	Solar coll.	Desorber	Condenser	HE AC	Absorber
		Daya (kW)	Luas (m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Duty (kW)	Duty (kW)	Volume (m <sup>3</sup> )
LiNO <sub>3</sub> /NH <sub>3</sub>	45/55	0,0045	0,01	3,357	0,011	1,612	1,465	0,0030

a) Harga Solar Thermal Collector

Diketahui harga solar thermal collector adalah 200USD/m<sup>2</sup> pada tahun 2011 (Pablo,2011). Sehingga harga solar thermal collector pada tahun 2017 adalah:

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{646}{585,7} \times \$200$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \$212$$

Sehingga harga solar thermal collector untuk ukura 4m<sup>2</sup> pada tahun 2017 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Solar Thermal Collector} &= \$212/\text{m}^2 \times 3,357 \text{ m}^2 \\ &= \$712 \\ &= \text{Rp. } 6.081.406 \text{ (\$1 = Rp. } 13.330) \end{aligned}$$

b) Harga Pompa

Berdasarkan jurnal oleh Pablo pada tahun 2011, didapatkan harga pompa beserta spesifikasinya sebagai berikut:

$$\text{Daya Pompa} = 0,4 \text{ kW}$$

$$\text{Harga} = \$604$$

$$\text{Tahun Harga} = 2011$$

Untuk harga pompa dengan daya 0,0046 kW adalah:

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{\text{Kapasitas alat B}}{\text{Kapasitas alat A}} \right)^{0,6} \times \text{Harga alat kapasitas A}$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{0,0046}{0,4} \right)^{0,6} \times \$604$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \$41$$

Harga pompa pada tahun 2017:

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{646}{585,7} \times \$41$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \$47$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \text{Rp. } 608.095$$

c) Harga *Heat Exchanger* 1

Berdasarkan jurnal oleh Pablo pada tahun 2011, didapatkan harga *condenser* beserta spesifikasinya sebagai berikut:

*Heat duty* = 19,54 kW

Harga = \$2828

Tahun Harga = 2011

Untuk harga *condenser* dengan kapasitas pendinginan 0,145 kW adalah:

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{\text{Kapasitas alat B}}{\text{Kapasitas alat A}} \right)^{0,6} \times \text{Harga alat kapasitas A}$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{0,145}{19,54} \right)^{0,6} \times \$2828$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \$149$$

Harga *heat exchanger* pada tahun 2017:

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{646}{585,7} \times \$149$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \$164$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \text{Rp. 2.193.476}$$

d) Harga *Desorber (Storage Tank)*

Berdasarkan website [www.matche.com](http://www.matche.com) didapatkan harga *desorber* beserta spesifikasinya sebagai berikut:

Volume Tangki = 1300 gallons

Harga = \$19.500

Material = *Carbon Steel*

Tahun Harga = 2014

Untuk harga *desorber* dengan volume tangki 0,0028 m<sup>3</sup> (0,74 gallon) adalah:

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{\text{Kapasitas alat B}}{\text{Kapasitas alat A}} \right)^{0,6} \times \text{Harga alat kapasitas A}$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{0,74}{1300} \right)^{0,6} \times \$19.500$$



*Harga alat kapasitas B = \$220*

Harga *desorber* pada tahun 2017:

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{646}{580,1} \times \$220$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \$245$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \text{Rp. 3.270.810}$$

e) *Harga Condenser*

Berdasarkan jurnal oleh Pablo pada tahun 2011, didapatkan harga *condenser* beserta spesifikasinya sebagai berikut:

$$\text{Heat duty} = 28,02 \text{ kW}$$

$$\text{Harga} = \$600$$

$$\text{Tahun Harga} = 2011$$

Untuk harga *condenser* dengan kapasitas pendinginan 1,61 kW adalah:

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{\text{Kapasitas alat B}}{\text{Kapasitas alat A}} \right)^{0,6} \times \text{Harga alat kapasitas A}$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{1,61}{28,02} \right)^{0,6} \times \$600$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \$108$$

Harga *heat exchanger* pada tahun 2017:

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{646}{585,7} \times \$108$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \$119$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \text{Rp. 1.590.387}$$

f) *Harga Evaporator*

Berdasarkan jurnal oleh Pablo pada tahun 2011, didapatkan harga *evaporator* beserta spesifikasinya sebagai berikut:

Kapasitas Pendinginan= 10,55 kW

Harga = \$600

Tahun Harga = 2011

Untuk harga *evaporator* dengan kapasitas pendinginan 1,456 kW adalah:

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{\text{Kapasitas alat B}}{\text{Kapasitas alat A}} \right)^{0,6} \times \text{Harga alat kapasitas A}$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{1,465}{10,55} \right)^{0,6} \times \$600$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \$184$$

Harga *heat exchanger* pada tahun 2017:

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{646}{585,7} \times \$184$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \$202$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \text{Rp. 2.698.297}$$

g) *Harga Absorber (Absorber chiller)*

Berdasarkan website [www.matche.com](http://www.matche.com) didapatkan harga *absorber* beserta spesifikasinya sebagai berikut:

Volume Tangki = 1300 gallons

Harga = \$19.500

Material = *Carbon Steel*

Tahun Harga = 2014

Untuk harga *absorber* dengan volume tangki 0,0045 m<sup>3</sup> (1,19 gallon) adalah:

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{\text{Kapasitas alat B}}{\text{Kapasitas alat A}} \right)^{0,6} \times \text{Harga alat kapasitas A}$$

$$\text{Harga alat kapasitas B} = \left( \frac{1,19}{1300} \right)^{0,6} \times \$19.500$$

*Harga alat kapasitas B = \$293*

*Harga absorber pada tahun 2017:*

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{\text{Index harga tahun sekarang}}{\text{Index harga tahun X}} \times \text{Harga alat tahun X}$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \frac{646}{580,1} \times \$293$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \$326$$

$$\text{Harga alat sekarang} = \text{Rp. 4.347.985}$$

h) Harga untuk Aksesoris (perpipaan, kontrol, insulasi, dll)

Berdasarkan jurnal oleh Pablo pada tahun 2011, harga untuk aksesoris pada sistem seperti perpipaan, kontrol, insulasi, dan lain sebagainya diambil sebesar 7% dari total biaya alat.

$$\text{Biaya untuk aksesoris sistem (X)} = 7\% \times \text{Capital Cost}$$

$$= 7\% \times (\$1560 + X)$$

$$X = \$117$$

$$\text{Biaya untuk aksesoris sistem} = \$117$$

$$= \text{Rp. 1.564.888}$$

Rangkuman harga alat *solar air conditioning* terdapat pada tabel berikut:

**Tabel H.3.** Rangkuman Hasil Perhitungan Biaya Kapital *Solar Air Conditioning*

Jenis Alat	Harga (\$)	Harga (Rp.)
<i>Solar Thermal Collector</i>	456	6.081.406
Pompa	46	608.095
<i>Heat Exchanger 1</i>	165	2.193.476
<i>Desorber (Storage Tank)</i>	245	3.270.810
<i>Condensor (Fan Coil)</i>	119	1.590.387
<i>Evaporator (Fan Coil)</i>	202	2.698.297
Absorber ( <i>absorption chiller</i> )	326	4.347.985
Aksesoris (pipa, insulasi, dll)	117	1.564.888
<b>CAPITAL COST</b>	<b>\$1.677</b>	<b>Rp. 22.355.346</b>

### **Menghitung Biaya Kapital Pendingin Ruangan Komersial**

Untuk pendingin ruangan komersial, harga alat diambil dari harga pendingin ruangan yang telah dijual di pasar yang memiliki kapasitas pendinginan yang sama dengan *solar air conditioning*. Dipilih Panasonic Single Split Air Conditioner CS/CU-PN5SKJ yang memiliki kapasitas pendinginan yang sama yaitu 5000 Btu/h. Harga pendingin ruangan komersial didapatkan **Rp. 2.950.000**

### **Analisa Annual Worth**

MARR = 6,75%  
Life time = 30 tahun

**Tabel H.4** Hasil Analisa *Annual Worth* Sistem Solar Air Conditioning

Tahun	<i>Capital Cost</i>	<i>Operating Cost</i>	Total	PV
0	-Rp22.355.346		-Rp22.355.346	(Rp22.355.346,00)
1		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp21.314,55)
2		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp20.013,67)
3		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp18.792,17)
4		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp17.645,23)
5		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp16.568,29)
6		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp15.557,08)
7		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp14.607,59)
8		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp13.716,05)
9		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp12.878,92)
10		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp12.092,88)
11		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp11.354,82)
12		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp10.661,80)
13		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp10.011,08)
14		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp9.400,08)
15		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp8.826,36)

16		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp8.287,66)
17		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp7.781,84)
18		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp7.306,90)
19		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp6.860,94)
20		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp6.442,19)
21		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp6.049,01)
22		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp5.679,82)
23		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp5.333,16)
24		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp5.007,67)
25		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp4.702,03)
26		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp4.415,05)
27		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp4.145,59)
28		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp3.892,57)
29		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp3.655,00)
30		-Rp22.700	-Rp22.700	(Rp3.431,92)
<i>Present Worth</i>				(Rp22.651.777,94)
<i>Annual Worth</i>				(Rp1.734.615,22)

**Tabel H.5** Hasil Analisa *Annual Worth* Sistem *Commercial Air Conditioning*

tahun	CC	OC	total	PV
0	-Rp2.950.000		-Rp2.950.000	(Rp2.950.000,00)
1		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.853.446,01)
2		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.740.324,89)
3		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.634.107,88)
4		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.534.373,60)
5		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.440.726,38)
6		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.352.794,72)
7		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.270.229,79)
8		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.192.704,03)
9		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp1.119.909,88)
10	-Rp2.950.000	-Rp1.973.920	-Rp4.923.920	(Rp2.623.100,38)
11		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp987.378,94)
12		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp927.116,38)
13		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp870.531,81)
14		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp817.400,76)
15		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp767.512,45)

16		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp720.668,97)
17		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp676.684,48)
18		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp635.384,49)
19		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp596.605,15)
20	-Rp2.950.000	-Rp1.973.920	-Rp4.923.920	(Rp1.397.393,87)
21		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp526.002,47)
22		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp493.899,03)
23		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp463.754,96)
24		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp435.450,67)
25		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp408.873,87)
26		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp383.919,12)
27		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp360.487,44)
28		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp338.485,86)
29		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp317.827,10)
30		-Rp1.973.920	-Rp1.973.920	(Rp298.429,20)
<i>Present Worth</i>				(Rp31.135.524,58)
<i>Annual Worth</i>				(Rp2.384.278,84)





# **DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

## BIDODATA PENULIS



**Serlya Aldina**, dilahirkan Bojonegoro, 18 Mei 1995, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis pernah bersekolah di SDN Sumberrejo Bojonegoro, SMP Negeri 1 Balen Bojonegoro, SMA Negeri 1 Bojonegoro. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.

Saat duduk di bangku kuliah, penulis menjabat aktif dalam kegiatan di Lembaga Pers mahasiswa dan asisten laboratorium komputasi dan numerik. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja pada tahun 2016. Penulis telah menyelesaikan Tugas Desain Pabrik Kimia sebagai syarat meraih gelar Sarjana yang berjudul *Pra Desain Pabrik Miniplant Oil Refinery* pada tahun 2017.

***e-mail:*** aserlya68@gmail.com



**Novita Sari**, dilahirkan di kota Duri, 4 November 1994, dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis pernah bersekolah di SMP IT Mutiara Duri, dan SMA Negeri Plus Propinsi Riau. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS. Saat duduk di bangku kuliah, penulis aktif sebagai *volunteer* di ITS *International Office* dan mendapatkan kesempatan untuk mengikuti *Student Union Internship Program* di UTeM, Malaysia pada tahun 2015. Pada tahun 2016, penulis mendapatkan kesempatan untuk menjadi delegasi ITS di kegiatan *global Project Based Learning* (gPBL) 2017 di KMUTT, Thailand. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang pada tahun 2016. Penulis telah menyelesaikan Tugas Desain Pabrik Kimia sebagai syarat meraih gelar Sarjana yang berjudul *Pra Desain Pabrik Miniplant Oil Refinery* pada tahun 2017.

***e-mail:*** novinovitasari04@gmail.com